





DE STORINGEN

IN DE BEWEGING

DER

LIGCHAMEN VAN ONS ZONNESTELSEL,

VOORGEDRAGEN IN DE TAAL VAN HET
DAGELIJKSCHE LEVEN

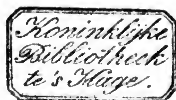
DOOR

F. KAISER,
HOOGLEERAAR TE LEIDEN.

EEN NIEUW HOOFDSTUK UIT DEN TWEEDEN DRUK VAN DE *VERKLARING DES STERRENHEMELS*; TEN BEHOEVE VAN HEN DIE DEN EERSTEN DRUK BEZITTEN AFZONDERLIJK UITGEGEVEN.

TE AMSTERDAM,
BIJ C. G. SULPKE.

1847.



GEDRUKT BIJ J. G. LA LAU TE LEIDEN.

VOORBERIGT.

Bij den herdruk mijner Verklaring van den Sterrenhemel *heb ik mij niet alleen beijverd om dat werk, zooveel in mijn vermogen was, te volmaken, maar ook om, zoo veel ik kon, de wenschen te vervullen, die door beoordeelingen of op andere wijzen, te mijner kennis gekomen zijn. Ofschoon ik geene redenen vond om eenigermate van de voordragt aftewijken, die mij ook vroeger de beste was toegeschenen, meende ik toch vele punten eene grootere juistheid of duidelijkheid te kunnen bijzetten, en de belangstelling, met welke het werk ontvangen is, overtuigde mij, dat men, bij zijnen herdruk, volledigheid boven eene ver gedrevene beknoptheid zoude verkiezen. In geen gedeelte der sterrekunde is onze kennis stelliger, uitgebreider en merkwaardiger dan in dat, hetwelk de storingen betreft, die de*

ligchamen des zonnestelsels in hunne beweging ondervinden. Het is echter niet mogelijk van die storingen eenig denkbeeld te geven, zonder aan haar eene ruimte toetewijden, die ik haar, bij den eersten druk van mijn werk, niet durfde schenken. Maar hoe gunstig mijne gedachten mogten zijn over de belangstelling mijner landgenooten in wetenschappelijke kennis, ik heb die nog te laag geschat, en nu reeds aan een' nieuwen druk van mijn werk arbeidende, meende ik het, bij toevoegsels van minderen omvang, een hoofdstuk over de storingen in de beweging der ligchamen van ons zonnestelsel, niet andermaal te mogen onthouden. Ongaarne zag ik hen, die den eersten druk bezitten, van dat hoofdstuk verstoken, en het is mij daarom zeer aangenaam, dat de uitgever mijn verzoek heeft ingewilligd van het, te hunnen behoeve, afzonderlijk verkrijgbaar te stellen.

Tot de veranderingen, die de eerste druk mijner Verklaring van den Sterrenhemel *moest ondergaan, behoorden niet alleen eenige uitbreidingen en verbeteringen, die een bijna dagelijksch gebruik van het werk, gedurende twee jaren, mij als wenschelijk had doen kennen, maar ook de vermelding der ontdekkingen, die na de uitgave van den eersten druk hebben plaats gehad. Het is naauwelijks te gelooven, met hoe vele en hoe gewigtige ontdekkingen de sterrekunde, in dat*

korte tijdvak, is verrijkt geworden. De ontdekkingen der kometen van DE VICO *en* BRORSEN, *met hare buitengewoon korte omloopstijden; die der talrijke en merkwaardige kometen van het jaar* 1846, *waaronder de komeet van* BIELA *met haren zonderlingen wachter; de ontdekking der planeet Astraea door* HENCKE *en die der planeet Neptunus door* LEVERRIER; *de ontdekking van de donkere sterren door* BESSEL *en van het zwaartepunt des zigtbaren heelals door* MÄDLER, *zie daar eenige vruchten van het jongstverloopene tweetal jaren. In den nieuwen druk mijner* Verklaring van den Sterrenhemel *kon ik de nieuwere ontdekkingen geene veel grootere plaats dan de vroegere inruimen, maar toch verdienen de nieuwere ontdekkingen eene opzettelijke en uitvoerige behandeling, daar zij in de allerlaatste jaren, en als onder onze oogen, hebben plaats gehad, en in belangrijkheid boven andere uitmunten, terwijl hare uitvoerige ontwikkeling bij uitstek geschikt is, om een dieper inzigt in het wezen der tegenwoordige sterrekunde te geven. Het is mijn voornemen, zoodra het mij mogelijk zal zijn, een afzonderlijk stuk, over de genoemde jongste sterrekundige ontdekkingen, op te stellen, niet alleen om de bezitters van den eersten druk mijner* Verklaring van den Sterrenhemel *met die ontdekkingen bekend te maken, maar ook om voor hen, die den tweeden druk gelezen zullen hebben, me-*

nige belangrijke vraag te kunnen beantwoorden, die ik in een werk, waarin de uitkomsten van vroegere en latere sterrekundige onderzoekingen dezelfde regten hadden, onbeantwoord laten moest.

F. KAISER.

Leiden,
8 Maart 1847.

BLADWIJZER.



NB. De aanhalingen van paragraphen en bladzijden in dit stuk, hebben betrekking op den eersten druk van de *Verklaring van den Sterrenhemel*, in 1844 uitgegeven.

DE STORINGEN

IN DE BEWEGING

DER

LIGCHAMEN VAN ONS ZONNESTELSEL.



§ 1.

Hoe veelvuldig en veelsoortig de onderwerpen wezen mogen, die de sterrekunde ter beschouwing en ter overweging aanbiedt, zoo rust deze wetenschap echter op slechts éénen grondslag, gaat zij uit van slechts één beginsel, met hetwelk zij staan of vallen moet, maar welks onwankelbaarheid voor alle toekomstige eeuwen is verzekerd. Dit beginsel is de algemeene aantrekkingskracht, algemeene zwaarte of gravitatie, door NEWTON ontdekt, de grondoorzaak van de meest zamengestelde verschijnselen des hemels; het middel waardoor ons zonnestelsel bestaat, dat zijne duurzaamheid waarborgt, en zonder hetwelk voor ons verstand geen wereldstelsel mogelijk is. De waarheid van dat beginsel is door duizende hemelverschijnselen bewezen, en zoo dikwijls als men in vroegere tijden nieuwe verschijnselen ontdekte, die aan zijne algemeenheid deden twijfelen, werden zij naderhand de treffendste hulpmiddelen voor zijne volkomene beves-

tiging. De aantrekkingskracht is eene van de grondeigenschappen der stof; zij bestaat in elk stofje dat voor onzen adem wijkt, zij heerscht ook in de gronddeelen, die de ontzettend groote ligchamen des hemels zamenstellen. Haar vermogen is niet van de natuur der stof, maar van hare hoeveelheid afhankelijk, en alle ligchamen trekken sterker aan, in dezelfde verhouding als waarin zij meer stofs bevatten en dus hunne massa grooter is. De kracht, waarmede een ligchaam andere ligchamen tot zich trekt, is in dezelfde verhouding grooter als waarin zijne afstanden tot die andere ligchamen, met zich zelven vermenigvuldigd, kleinere uitkomsten opleveren. (§ 34 bladz. 73) De aantrekkingskracht werkt, ook op de grootste afstanden, in een enkel oogenblik, zoo dat zij geenen tijd behoeft om hare werking door de ruimte des hemels voortteplanten. Door deze weinige en eenvoudige regels is de aantrekkingskracht volkomen bepaald, aan hen is zij in de gansche schepping gebonden.

Wij hebben (§ 35 bladz. 73) de beweging leeren kennen welke eene planeet, onder den invloed van de aantrekkingskracht der zon, moet ondervinden, maar wij namen daarbij stilzwijgend aan dat zij, met de zon, de geheele schepping uitmaakte. Zij is echter geenszins met de zon alleen aanwezig. Reeds in ons zonnestelsel kennen wij, buiten de zon en de kometen, dertien planeten en achttien wachters. Al die ligchamen zijn met hunne aantrekkingskracht toegerust, en werken daardoor wederkeerig op elkander. Elke planeet wordt niet alleen door de zon geregeerd, maar moet ook den invloed van de overige ligchamen des stelsels ondervinden; en is de zon verre weg de magtigste, treedt zij op als gebiedster en vorstin, toch

zijn de planeten eenigermate aan elkander onderworpen, toch gevoelen zij eene onderlinge afhankelijkheid als die van dienstboden in hetzelfde huisgezin. Zelfs de gebiedster wordt, onder den invloed van zoo vele onderhoorigen, ginds en derwaarts getrokken. Zij wordt door elke planeet van hare plaats geroepen (§ 35 bladz. 73), daardoor worden de brandpunten der loopbanen van al de overige verplaatst, en de planeten loopen rond, als of zij zelve niet regt wisten om welk punt zij zich eigenlijk moeten bewegen. De planeten pogen elkander uit den rang en den stand te verdringen, die haar in het stelsel is toegewezen, en de eene zoude de andere geheel overmeesteren, indien de magt der vorstin niet tusschen beide kwam, om haar in toom te houden. Boven dit alles laat de eene planeet de andere geen oogenblik ongestoord. Nu worden zij in de eene, dan weder in de andere rigting, nu eens zachter, dan weder gewelddadiger van den eigenlijken weg afgeleid, dien zij bewandelen moesten. — Zoo worden de bewegingen van de ligchamen des zonnestelsels, onder de wederkeerige werking van hunne aantrekkingskracht, derwijze zamengesteld, dat de mensch voor hare ontwarring al het vermogen van zijnen geest behoefde. Geene beweging in het planetenstelsel, hoe ook ingewikkeld, die de waarnemingen vermogten aantewijzen, is echter onverklaard gebleven en het beginsel der algemeene aantrekkingskracht heeft daarbij nooit gefaald. Dikwijls deed het het bestaan van nog onbekende bewegingen in het planetenstelsel ontdekken, die zich eerst, bij eene hoogere volmaking der waarnemingen, aan onze zintuigen konden verraden. De plaatsen die de planeten voor eeuwen en duizendtallen van jaren hebben ingenomen, of

die zij na eeuwen en duizendtallen van jaren innemen zullen, laten zich thans, in weerwil van de zamengesteldheid harer beweging, met eene bijna ongelooflijke juistheid bepalen, en de waarnemingen die de vroegste oudheid ons heeft nagelaten, drukken den stempel der volkomenheid op de kennis van de bewerktuiging des hemels, die wij thans bezitten.

§ 2.

Het is een vrij eenvoudig wiskundig vraagstuk de beweging van twee ligchamen te bepalen, aan den invloed van elkanders wederkeerige aantrekking onderworpen, en de uitkomst is even eenvoudig als het vraagstuk zelf. Zijn die ligchamen in rust, terwijl zij aan elkanders werking worden overgegeven, dan zullen zij zich, met eene steeds toenemende snelheid, in eene regte lijn naar elkander toe bewegen, en eindelijk op elkander nederstorten. Bezitten zij eene oorspronkelijke en eenparige beweging, die niet van het eene ligchaam naar het andere gerigt is, dan zullen zij zich beide in eene der kromme lijnen bewegen, die kegelsneden genaamd worden, en de juiste natuur, de grootte en de gedaante der loopbanen die zij beschrijven, hangen van de snelheden hunner oorspronkelijke beweging af. Is de snelheid dier oorspronkelijke beweging zoo als bij de planeten van ons zonnestelsel, dan moeten de twee ligchamen ellipsen beschrijven van dezelfde gedaante, die hun gemeenschappelijk zwaartepunt tot gemeenschappelijk brandpunt hebben, in welke zij hunne omwentelingen in dezelfde tijden volbrengen, altijd, met betrekking tot het gemeenschappelijk brandpunt, tegen over elkan-

der geplaatst zijn en met eene veranderlijke snelheid voortgaan, die door de tweede wet van KEPPLER bepaald wordt (§ 35 bladz. 73). Geheel anders is de beweging van drie ligchamen, aan den invloed van elkanders wederkeerige aantrekking onderworpen, en zoo men aan het vorige tweetal ligchamen slechts een derde toevoegt, verkrijgt men eene ongelooflijke verwikkeling van werkingen en terugwerkingen, en daardoor een doolhof van bewegingen, waaruit zelfs de grootste wiskundige zich niet wist te redden. De bepaling van de bewegingen dier drie ligchamen is een vraagstuk, welks algemeene en volledige oplossing, zelfs nu, de kracht der hoogere wiskunde te boven gaat, en het is klaar dat de moeijelijkheden toenemen met het getal der ligchamen, die men te beschouwen heeft. Het zoude dus met de kennis van de beweging der talrijke ligchamen van ons zonnestelsel slecht gesteld wezen, werden niet in den bouw zelven van het zonnestelsel de hulpmiddelen aangewezen, om het werk te verligten en onder het bereik van menschelijke krachten te brengen. De algemeene en volledige oplossing van het vraagstuk is niet noodzakelijk, wanneer de voorname beweging door één ligchaam wordt voorgeschreven, terwijl de overige niet dan kleine afwijkingen van die beweging veroorzaken kunnen, en dit is juist het geval met de ligchamen van ons zonnestelsel. De zon gaat al de planeten zoo zeer in massa te boven, dat elk dier ligchamen zich, op zeer weinig na, zoodanig beweegt, als of het met de zon alleen aanwezig ware, terwijl de andere het slechts een weinig van den weg kunnen afleiden, dien het door de zon wordt voorgeschreven. Hetzelfde geldt ook voor een stelsel, bestaande uit eene hoofdplaneet en hare wach-

ters, waar weder de wederkeerige werking, die de wachters op elkander uitoefenen, zeer gering is, in vergelijking van die, welke hen door hunne hoofdplaneet wordt toegebragt. Zulk een stelsel ondervindt ook eene werking van buiten, door de andere planeten en door de zon veroorzaakt, maar die ligchamen zijn alle, met betrekking tot zijne eigene grootte, zeer ver van het stelsel verwijderd. Zij werken daardoor op alle ligchamen die het zamenstellen met nagenoeg hetzelfde vermogen, en kunnen daardoor slechts zeer geringe wijzigingen, in de onderlinge beweging dier ligchamen, doen ontstaan. Hadden de ligchamen van ons zonnestelsel nagenoeg dezelfde grootte, en konden zij op alle willekeurige afstanden van elkander komen, dan zoude eene oneindige verscheidenheid van werkingen en terugwerkingen ontstaan, die alle tot hetzelfde bedrag konden opklimmen en wier volledige bepaling noodzakelijk, maar voor ons onmogelijk, zoude wezen. Nu wordt elk ligchaam van ons zonnestelsel door ééne hoofdkracht bestuurd, wier uitwerking zich ligtelijk laat berekenen. Alle overige werkingen en terugwerkingen zijn gering, de eene moet nog veel kleiner dan de andere wezen, en verreweg hun grootste getal is, ook voor onze fijnste waarnemingen, volstrekt onmerkbaar. Zoo blijft er ons nu een betrekkelijk slechts zeer gering aantal werkingen en terugwerkingen ter beschouwing over, wier bepaling bij de planeten en hare wachters nog zeer begunstigd wordt door de omstandigheid, dat hare loopbanen eene bijna cirkelvormige gedaante hebben en nagenoeg in dezelfde vlakte zamenvallen, die wel, in weerwil van alles nog aan groote moeijelijkheden verbonden is, maar die toch de kracht des menschen geenszins te boven gaat.

§ 3.

De gevolgen van de aantrekking, welke de ligchamen des zonnestelsels buiten die van het hoofdligchaam ondervinden, dat hunne voorname beweging bepaalt, dragen in het algemeen den naam van *storingen*, maar zoo men onder dien naam al de genoemde gevolgen wil begrijpen, moet men hem ook toepassen op merkwaardige en duurzame betrekkingen in het zonnestelsel, juist door de wederkeerige werking der ligchamen die het zamenstellen, tot stand gebragt. De bepaling dier storingen behoort tot de hoogste en moeijelijkste deelen der hoogere wiskunde en het is volstrekt onmogelijk in een werk als dit, van haar eene volledige ontwikkeling te geven. Men kan wel, ook zonder de hulp der wiskunde, aanwijzen hoe sommige verschijnselen, die wij in de beweging der hemellichten bespeuren, door de aantrekking welke zij ondervinden veroorzaakt worden, maar ook in die aanwijzing moeten wij, wegens gebrek aan ruimte, zeer spaarzaam zijn. De eenvoudige mededeeling van de merkwaardigste uitkomsten, door de hoogere wiskunde verkregen, is alles, wat wij hier toezeggen kunnen. Wij zullen de naaste oorzaak en hare gevolgen vermelden, maar kunnen alleen, in sommige der meest merkwaardige gevallen, het verband tusschen beide zoo veel toelichten als noodig is, om iedereen te doen inzien, dat de vermelde oorzaak noodwendig ook de vermelde gevolgen hebben moest.

In de eerste plaats moeten wij een algemeen denkbeeld geven van het wezen der storingen, welke de planeten ondervinden, en de tweederlei soort van storingen ophelderen, op welke wij gezinspeeld heb-

ben. Eene soort van storingen, die de planeten ondergaan, heeft betrekking op hare geheele loopbanen; eene andere op de plaatsen, welke zij in hare loopbanen bekleeden. De storingen van de eerste soort hangen niet af van de tijdelijke plaatsen der planeten, maar van den bouw des geheelen stelsels, en zij brengen aan de geheele loopbanen der planeten zeer langzame wijzigingen toe, die eeuwen lang in denzelfden zin en met een' bijna onveranderden tred kunnen voortloopen, en deswege *seculaire* storingen genoemd worden. De storingen van de tweede soort hangen van de tijdelijke standplaatsen af, welke de planeten in hare loopbanen bekleeden, en keeren tot haar vorig bedrag terug, zoo dikwijls als de planeten, met betrekking tot elkander, of met betrekking tot kenbare punten in hare loopbanen, denzelfden stand hernemen. Deze storingen ondergaan dus afwisselingen, in betrekkelijk kleine tijdkringen besloten, weshalve zij *periodieke* storingen genoemd worden, en zij doen de planeten gestadig afwijken van de loopbanen, reeds door de eerste soort van storingen gewijzigd. Wil men zich van de seculaire storingen een juist denkbeeld vormen, zoo verbeelde men zich eene platte vlakte door de zon loopende, en door allen eeuwen heen denzelfden stand in de ruimte behoudende. Men kan die vlakte zoodanig kiezen, dat zij bijna met de vlakte van de loopbaan der aarde, in hare tegenwoordige ligging, zamenvalt, dan zal de loopbaan van elke planeet met die vaste vlakte een' kleinen hoek maken, en haar onder eene regte lijn doorsnijden. Die hoek is aan eene zeer langzame verandering onderworpen, wordt nu grooter, dan kleiner, behoeft duizenden van jaren om van zijne kleinste waarde

tot zijne grootste over te gaan, maar kan zekere bepaalde en enge grenzen nooit overschrijden. De lijn van doorsnede draait zich langzaam in de rondte, en daardoor wordt de bovengemelde hoek achtereenvolgens naar alle punten van den omtrek des hemels gekeerd, maar meestal heeft die lijn honderdduizendtallen van jaren noodig om zich geheel om te wentelen. Niet alleen neemt de vlakte, in welke de loopbaan van eene planeet gelegen is, allengs andere standen aan, maar ook wordt de ligging van de loopbaan in die vlakte gestadig veranderd. De elliptische loopbaan eener planeet draait zich namelijk ook langzaam om, over de vlakte in welke zij gelegen is, zoodanig dat zij hare groote as achtereenvolgens naar alle punten van den omtrek des hemels rigt. Behalve dat de ligging van de loopbaan eener planeet, in de genoemde drieërlei opzigten, veranderd wordt, ondergaat zij zelve zeer merkbare veranderingen in hare gedaante en bij sommige planeten ook in hare grootte. De loopbaan van elke planeet neemt zeer langzaam eene meer ronde of meer langwerpige gedaante aan, maar ook hier zijn haar bepaalde en enge grenzen voorgeschreven, die zij nooit kan te buiten gaan, terwijl zij weder duizendtallen van jaren behoeft, om van het eene uiterste tot het andere te komen. Voor zoo ver de grootte van de loopbanen der planeten veranderen kan, bestaat die verandering altijd in eene afwisselende toeneming en afneming, beide binnen zeer enge grenzen besloten, en de gemiddelde grootte van de loopbanen der planeten blijft altijd volstrekt onveranderlijk. Door de werking welke eene planeet, in hare geheele loopbaan, op eene andere uitoefent, moet de lijn, onder welke beider loopbanen elkander

doorsnijden, zich, door den tijd, in de rigting van het oosten naar het westen omdraaijen, terwijl de assen dier loopbanen zich omwentelen in eene tegenovergestelde rigting. Wordt de loopbaan van eene planeet door die van eene andere verkleind of ronder gemaakt, dan maakt zij, omgekeerd, die van de andere grooter of langwerpiger, en in het algemeen gaat elke werking van eene terugwerking vergezeld, die merkwaardige overeenstemmingen tusschen de veranderingen, welke de loopbanen der planeten ondervinden, ten gevolge heeft. Al de genoemde veranderingen gaan uiterst langzaam voort, en op een' bepaalden tijd heeft de loopbaan van eene planeet eene bepaalde grootte, gedaante en ligging, die men met juistheid berekenen kan; maar door de periodieke storingen zullen de planeten zich toch nooit juist in die gewijzigde loopbanen bevinden. Van de zamengesteldheid der periodieke storingen kan men zich een denkbeeld vormen, door de werking en terugwerking die twee planeten op elkander uitoefenen. Als eene planeet eene andere uit hare eigenlijke standplaats rukt, wordt zij wederkeerig, door de andere, uit hare standplaats getrokken. Door de veranderde standplaats der planeten wordt ook hare wederkeerige werking veranderd, de veranderde wederkeerige werking verandert weder de gewijzigde standplaats, en dit gaat onbepaaldelijk voort, terwijl, door de beweging der planeten om de zon, hare onderlinge rigtingen en afstanden en daardoor ook hare wederkeerige werkingen onophoudelijk veranderd worden. De storingen die twee planeten op elkander uitoefenen zijn dus reeds zeer zamengesteld, en het is natuurlijk, dat de wederkeerige werking onder het dertiental planeten

dat wij kennen, nog onvergelijkbaar zamengestelder wezen moet; en inderdaad zoude de berekening van de storingen der planeten voor ons onuitvoerbaar zijn, waren zij niet, met uitzondering van een betrekkelijk zeer gering aantal, zoo klein, dat zij voor onze fijnste waarnemingen onmerkbaar blijven, en dus, ook bij onze naauwkeurigste berekeningen, verwaarloosd mogen worden.

§ 4.

Als de zon en eene, om haar rondloopende, planeet juist even veel en in dezelfde rigting verplaatst worden, dan zal die verplaatsing den stand, welken de zon en de planeet, met betrekking tot elkander, innemen, niet veranderen en de planeet zal ongestoord in hare elliptische loopbaan om de zon voortgaan. Hieruit volgt, dat eene planeet eene andere in hare beweging niet zoude verstoren, als zij deze even sterk en in dezelfde rigting als de zon aantrok, en de storingen, die eene planeet veroorzaakt, zijn dus eigenlijk slechts gevolgen van het verschil tusschen de werkingen, welke zij op de zon en de andere planeten uitoefent. Dit verschil wordt alleen hierdoor teweeg gebragt, dat de zon en eene planeet niet op denzelfden afstand van de storende planeet, noch ook in dezelfde rigting met betrekking tot haar geplaatst zijn, en naar mate eene storende planeet verder verwijderd is, zullen zoo wel die rigtingen als die afstanden minder verschillen kunnen, en dus ook de storingen kleiner zijn. De uiterste planeten van het stelsel kunnen daardoor alleen eenen zeer geringen invloed op de beweging der planeten uitoefenen, die

zich het digst bij de zon bevinden. Omgekeerd smelt de werking der planeten naauwkeuriger met die der zon te zamen, naar mate haar afstand tot dat ligchaam kleiner is, en daardoor zullen weder de naaste planeten slechts in geringe mate de buitenste verstoren. Zoo zijn de bewegingen der planeten Jupiter, Saturnus, Uranus en Leverrier, met betrekking tot de naauwkeurigheid welke wij aan onze waarnemingen geven kunnen, van de planeten die zich digter bij de zon bevinden geheel onafhankelijk. De planeten, wier afstanden tot de zon niet veel verschillen, moeten het sterkst op elkander werken, en in het algemeen zal eene planeet eenen grooteren invloed op het geheele stelsel uitoefenen, naar mate hare massa grooter is, en haar afstand tot de zon nader met de gemiddelde afstanden der planeten overeenkomt. De twee grootste planeten van het stelsel, met name Jupiter en Saturnus, bekleeden daarin eene plaats, bij uitstek geschikt om hare werking op elkander en op de overige planeten te bevorderen. Jupiter brengt, om zijne grootte en om zijnen stand, de grootste storingen onder de planeten te weeg, en die storingen zouden tot een aanmerkelijk bedrag kunnen opklimmen, werd dit niet door het aanwezen van de planeet Saturnus verhinderd. Saturnus volgt in grootte op Jupiter, en is twee malen verder van de zon verwijderd. Ook de invloed van die planeet is groot, en indien zij hare krachten met die van Jupiter vereenigde, zouden zij te zamen sterke veranderingen in het planetenstelsel doen ontstaan, maar de natuur heeft haar andere pligten ter vervulling opgelegd. De werking van Saturnus is in een' anderen zin dan die van Jupiter, en de werking die Jupiter in het alge-

meen op het stelsel uitoefenen zoude, wordt door het aanwezen van Saturnus tot op een twintigste deel van hare waarde verminderd. Het is klaar dat de werkingen, welke de planeten Jupiter en Saturnus op elkander uitoefenen, buitengewoon groot moeten wezen, en onder die werkingen is er eene, die gedurende een' langen tijd een onoplosbaar raadsel was, en boven andere eene nadere beschouwing verdient. Reeds in het begin der achttiende eeuw ontdekte men, door de nieuwere waarnemingen met elkander te vergelijken, dat de loopbaan der planeet Jupiter gestadig grooter werd, zoo dat die planeet, zich spiraalsgewijze om de zon bewegende, allengs verder van dat ligchaam werd verwijderd, en steeds langzamer voortging. Bij de planeet Saturnus ontdekte men, op dezelfde wijze, juist het tegendeel, daar zij, in steeds kleinere loopbanen, gestadig eene grootere snelheid aannam. Het is natuurlijk dat die verandering, indien zij bestendig in denzelfden zin moest aanhouden, op eene ontmoeting van beide ligchamen en op eene eindelijke verwoesting van het geheele stelsel zoude uitloopen, en daarom was men zeer begeerig te weten, welken loop die verandering in de volgende eeuwen nemen zoude, waartoe men echter niet geraken kon, zonder hare grondoorzaak ontdekt te hebben. Verscheidene groote wiskundigen hebben vruchtelooze pogingen aangewend om deze zonderlinge verandering in de beweging van beide planeten, uit de aantrekking die zij van elkander en van de overige ligchamen des zonnestelsels ondervinden te verklaren; en zelfs de onsterfelijke LAPLACE, wiens reuzengeest tot de diepste geheimen der schepping wist doortedringen, meende aanvankelijk voor hare verklaring de hulp der

kometen te moeten inroepen. Dat de kometen zulk eene werking op de grootste planeten van het stelsel zouden uitoefenen, moest men echter voor zeer onwaarschijnlijk houden, daar men wist, dat haar invloed op de kleinste planeten onmerkbaar was, maar eindelijk heeft ook hier het vernuft van LAPLACE alle zwarigheden overwonnen. Hij ontdekte de oorzaak dier verandering, bepaalde haren loop voor toekomstige en verledene eeuwen, en bewees, dat zij niet onophoudelijk in denzelfden zin kan voortgaan, en nooit voor het zonnestelsel gevaarlijk kan worden. De tegenwoordige verwijdering van Jupiter en toenadering van Saturnus zullen nog ruim anderhalve eeuw stand houden, maar dan geheel worden omgekeerd, zoodat, na dien tijd, Jupiter weder tot de zon zal toenaderen, en Saturnus zich van haar zal verwijderen, en de geheele werking is in tijdkringen van 932 jaren besloten, binnen welke de loopbanen van beide planeten tot den vorigen toestand moeten wederkeeren, na alle mogelijke afwisselingen te zijn doorgeloopen. In het jaar 1552 was de loopbaan van Jupiter zoo klein als die immer worden kan. Haar omloopstijd was toen op zijn kleinste, hare snelheid was op haar grootste bedrag. De loopbaan en de omloopstijd van Saturnus daarentegen hadden toen hunne grootste waarde. In het jaar 2018 zal met beide planeten juist het tegenovergestelde plaats hebben. Na dien tijd wordt de loopbaan van Jupiter weder kleiner, die van Saturnus weder grooter, en die verandering houdt stand tot dat, na verloop van nog 466 jaren, de loopbanen van beide planeten tot den toestand zullen teruggekeerd zijn, in welken zij zich in het jaar 1552 bevonden. De gemiddelde afstand van Saturnus tot de zon kan, door

die verandering, een veertien honderdste en die van Jupiter een negen duizendste deel van zijne waarde grooter of kleiner worden. De omloopstijden worden daardoor wel weinig gewijzigd, maar het gevolg van die langzame en aanhoudende wijziging verraadt zich zeer sterk, aan de standplaatsen van beide planeten. Aan deze verandering, welke de loopbanen der planeten Jupiter en Saturnus ondergaan, hebben de andere planeten volstrekt geen deel. Hare oorzaak ligt alleen in de wederkeerige werking, welke deze twee planeten, door hare aantrekkingskracht, op elkander uitoefenen, verbonden met de omstandigheid dat vijf maal de omloopstijd van Jupiter, op 145 dagen na, gelijk is aan twee maal den omloopstijd van Saturnus. Zoo dikwijls als twee planeten met elkander in zulk eene betrekking staan, dat de omloopstijd van de eene, met een willekeurig getal vermenigvuldigd, nagenoeg dezelfde uitkomst oplevert als de omloopstijd van de andere planeet, wanneer die met een ander geheel getal vermenigvuldigd wordt, moet de loopbaan van de eene zich vergrooten, terwijl die van de andere zich verkleint, en moeten die vergrooting en verkleining, bij regelmatige afwisseling, van de eene loopbaan op de andere overgaan. Het tijdperk binnen hetwelk de loopbanen van beide planeten al hare mogelijke aangroeijingen en afnemingen doorloopen, wordt eenvoudiglijk gevonden, door het product van hare omloopstijden, door het verschil van bovengenoemde uitkomsten te deelen, maar de verandering, welke de loopbanen in een bepaald gedeelte van dat tijdvak ondergaan, is in het algemeen kleiner, naar mate de genoe de getallen grooter zijn. Hoe langer het tijdperk bij een bepaald tweetal planeten duurt, zal natuurlijker-

wijze de werking sterker worden opgehoopt, en voor onze waarnemingen merkbaarder worden. Vijf maal de omloopstijd van Jupiter bedraagt 21663 dagen en twee maal de omloopstijd van Saturnus 21518 dagen, zoodat het verschil tusschen beide uitkomsten niet grooter is dan 145 dagen. Als men nu het product van beide omloopstijden door dat verschil deelt, zal men ook omtrent het tijdperk van 932 jaren vinden, dat echter eenigermate ook van andere omstandigheden afhangt en zelfs aan kleine veranderingen onderworpen is. Ware de omloopstijd van Jupiter 15 dagen korter of die van Saturnus 36 dagen langer, dan zoude het genoemde verschil slechts half zoo groot wezen, het tijdperk zoude daardoor twee maal langer, en dus 1864 jaren, duren en de afwijkingen zelve zouden tot het dubbel van hun tegenwoordig hoogste bedrag opklimmen. De verandering der loopbanen van de planeten Jupiter en Saturnus, zoo als die door de theorie wordt aangewezen, vindt men ook in de waarnemingen van vroegeren en lateren tijd bevestigd, en als onder sterrekundige waarnemingen van een onbekend tijdvak toereikende waarnemingen op Jupiter en Saturnus voorkomen, heeft men daarin hulpmiddelen om zijnen ouderdom te bepalen. — De genoemde overeenstemming tusschen de omloopstijden der planeten Jupiter en Saturnus heeft niet alleen de beschrevene verandering in de grootte harer loopbanen, maar ook eene veranderlijkheid harer gedaanten en liggingen ten gevolge. De groote assen dier loopbanen schommelen over de vlakte, waarin zij gelegen zijn, met die geheele loopbanen, heen en weder, zoo dat zij in 932 jaren elke schommeling volbrengen. De loopbaan der eene planeet wordt langwerpiger,

terwijl de andere eenen meer ronden vorm aanneemt, waarbij dezelfde afwisseling plaats heeft als bij hare grootte, zoodat beide loopbanen telkens na verloop van 932 jaren ook hare vorige gedaante hernemen, na alle mogelijke veranderingen te zijn doorgeloopen. Door deze gedaanteverwisselingen der loopbanen kan de afstand van Jupiter tot de zon zoo veel veranderd worden, als een twaalfhonderste, die van Saturnus zoo veel als een driehonderdste deel zijner waarde bedraagt.

Het is merkwaardig, dat juist bij de grootste planeten van het stelsel zulk een verband tusschen hare omloopstijden, in dien graad van volkomenheid, bestaat. Waar het bij andere planeten plaats mogt vinden, moet het soortgelijke uitwerkingen hebben, maar naar mate het verband minder volkomen is, d. i. naar mate de uitkomsten der vermenigvuldigingen meer van elkander verschillen, zijn de tijdperken korter en de werkingen minder merkbaar. Zoo bestaat er eenige overeenkomst tusschen eenmaal den omloopstijd van Mars en tweemaal dien der aarde, waaruit eene niet of naauwelijks merkbare veranderlijkheid harer loopbanen ontstaat, in tijdkringen van 16 jaren besloten. Tusschen Venus en de Aarde bestaan, op die zelfde wijze, twee soortgelijke werkingen, van welke de eene het korte tijdperk heeft van 4 de andere van 8 jaren, en buitendien eene, die tot een merkbaar bedrag kan opklimmen, en wier bestaan men voor weinige jaren ontdekte. Deze laatste wederkeerige verandering tusschen de loopbanen van de planeet Venus en de aarde ontstaat hieruit, dat 13 maal de omloopstijd van de eerste, op weinig na, gelijk is aan 8 maal den omloopstijd van de laatste, en het tijdperk, binnen welke alle

afwisselingen van beide loopbanen besloten zijn, bedraagt 240 jaren. Ook bestaat eene soortgelijke werking tusschen Jupiter en de kleine planeet Pallas, daar 7 maal de omloopstijd van Jupiter omtrent gelijk aan 18 maal dien van Pallas is.

§ 5.

De storingen, welke de ligchamen des zonnestelsels op elkander uitoefenen, hebben ons reeds met verschillende bijzonderheden, die ligchamen betreffende, bekend gemaakt, en voor zoo ver de planeten geene wachters hebben, zijn zij de eenige middelen om hare massa en digtheid te bepalen, maar onlangs gaven zij aanleiding tot eene ontdekking, zoo treffend en zoo schoon, dat men, in het gebied der wetenschappen, geene ontdekking die haar gelijkt zoude kunnen aanwijzen. Dat de storingen, welke de planeten in haren loop ondergaan, met eene verwonderlijke juistheid bekend zijn, kan ook blijken uit de treffende overeenstemming tusschen hare berekende en waargenomene bewegingen. Eene enkele planeet heeft echter in het laatste vijfentwintigtal jaren de sterrekundigen in verlegenheid gebragt, daar zij scheen te bestaan om aan te toonen, dat er nog iets aan onze kennis van de beweging der planeten moest ontbreken. Nadat de oudere HERSCHEL de planeet Uranus had ontdekt bleek het, dat men haar reeds sedert het jaar 1690 herhaaldelijk had waargenomen maar, noch hare beweging, noch haar voorkomen als eene schijf bespeurende, haar voor eene kleine vaste ster gehouden had. Zeer kort nadat men met het wezen van dat ligchaam als planeet was bekend geworden, bezat men alzoo

bepalingen van de plaats, die het aan den hemel had bekleed, zich uitstrekkende over een tijdvak, grooter dan zijn geheele omloopstijd, en men werd daardoor in staat gesteld zeer spoedig zijne loopbaan, met eenen hoogen graad van juistheid, te berekenen. De waarnemingen op de planeet Uranus werden echter eerst talrijk, nadat men in haar eene planeet herkend had, en de naauwkeurigheid dier waarnemingen nam toe, met de volmaking der praktische sterrekunde. Voor een dertigtal jaren achtte de sterrekundige A. BOUVARD het tijdstip geschikt, om op de voorhandene waarnemingen nieuwe tafelen voor de beweging der planeet Uranus te vestigen, door wier behulp de plaatsen, die zij, op willekeurige verledene en toekomstige tijden, aan den hemel moest bekleeden, ligtelijk berekend konden worden. Om daarin wel te kunnen slagen moest hij de storingen, welke Uranus door de aantrekking der overige planeten ondervindt, aan eene nieuwe en strenge onderzoeking onderwerpen, en het bleek hem daarbij, dat de storingen, door de bekende planeten teweeg gebragt, ontoereikende waren, voor de verklaring van de onregelmatigheden in de beweging der planeet Uranus, die door de waarnemingen werden aangewezen. Bij de uitgave van zijne tafels in het jaar 1821 verklaarde BOUVARD deswege, dat op de planeet Uranus nog eene andere kracht moest werken, dan de aantrekking der bekende planeten. Omtrent het wezen dier nog onbekende kracht werden verschillende stellingen opgeworpen, maar wie de bewegingen der overige planeten met ernst beoefend had, moest zich overtuigd houden, dat zij alleen rusten kon in de aantrekking van eene nog onontdekte planeet, die zich buiten den loopkring van Uranus

om de zon bewoog. Na het jaar 1821 heeft men zeer dikwijls over die vermoedelijke planeet gesproken en over de mogelijkheid gehandeld, om haar bestaan, door de storingen van Uranus, volkomen te bewijzen, maar het is langen tijd bij een bloot redeneren gebleven. Het was bekend genoeg hoe men, uit den stand en de massa van eene planeet, de storingen kan berekenen, die zij op eene andere uitoefent, maar hier viel het omgekeerde van dat vraagstuk op te lossen en de omkeering van het, in zich zelf reeds zware vraagstuk, scheen aan nog grootere moeijelijkheden verbonden te zijn. Daarbij waren de nog onverklaarde storingen, die Uranus onderging, zoo klein, dat men wel wanhopen moest aan de mogelijkheid, om, uit haar, het punt van den hemel met eenige juistheid te kunnen afleiden, waar de vermoedelijke planeet zich, op een' bepaalden tijd, zoude moeten vertoonen; en zoo men al in de bepaling van dat punt eenigermate mogt slagen, konden er nog jaren verloopen, voor dat de planeet zich, te midden van de honderden kleine sterren, die zich, zelfs in een klein vak van den hemel, vertoonen, liet uitvinden. Intusschen werden de waarnemingen al talrijker en naauwkeuriger, waardoor de moeijelijkheden der onderzoeking aanmerkelijk moesten verminderen, en was het eene groote onderneming het bestaan der nog onontdekte planeet te bewijzen en hare plaats te bepalen, de arbeid aan haar verbonden scheen toch niet grooter of moeijelijker dan die, welken men veil heeft gehad voor andere reusachtige ondernemingen, in deze eeuw, op eene gelukkige wijze ten uitvoer gebragt. Men kon hier niet verzekerd zijn zijn doel te zullen treffen, en dit is welligt de voorname reden

waarom het zoo langen tijd duurde, eer iemand de handen aan het werk heeft geslagen, dat men vruchteloos ook door prijsvragen had willen uitlokken. Eindelijk, voor ruim een jaar, trad een jeugdig wiskundige, de Heer LEVERRIER te Parijs, die zich reeds door andere schoone verrigtingen had beroemd gemaakt, met eene nieuwe onderzoeking te voorschijn, de planeet Uranus betreffende. Bemerkende dat A. BOUVARD de storingen, welke Uranus door de aantrekking der bekende planeten ondergaat, niet met eene wenschelijke zorg berekend had, onderwierp hij die aan eene geheel nieuwe onderzoeking, en vooral met inachtneming der jongste waarnemingen op de planeet Uranus, werd het zekerder dan ooit te voren, dat de beweging dier planeet zich niet volledig uit de aantrekking der bekende planeten liet verklaren. De slotsom dezer onderzoekingen werd bekend gemaakt den 10^{den} Nov. 1845 in eene verhandeling door LEVERRIER, bij de Academie van Wetenschappen te Parijs overgelegd. Zij gaf eene zeer juiste bepaling van het bedrag der nog onverklaarde storing, maar liet hare oorzaak nog geheel onbeslist. In eene verhandeling van den 1sten Junij 1846 gaf LEVERRIER het bewijs dat die storing, door de aantrekking van eene planeet werd veroorzaakt, die zich buiten den loopkring van Uranus om de zon bewoog, en vermelde hij de plaats van den hemel, omtrent welke de nog onontdekte planeet zich moest vertoonen. Den 31sten Aug. 1846 gaf LEVERRIER eene benaderde bepaling van de massa der nog onontdekte planeet, met die van de grootte en de gedaante harer loopbaan, het eene zoo wel als het andere, alleen uit de beweging van Uranus afgeleid. Eindelijk, den 5^{den} October 1846 deelde LEVER-

RIER het laatste gedeelte zijner onderzoekingen mede, de ligging van de loopbaan der nieuwe planeet betreffende. Men heeft zich juist niet gehaast de planeet van LEVERRIER aan den hemel op te sporen, en eerst nadat GALLE te Berlijn, door een buitengewoon gelukkig toeval begunstigd, haar op den 23sten September 1846 gevonden had, aan het punt van den hemel door LEVERRIER aangewezen, werd diens arbeid op zijnen prijs geschat, en in dezelfde mate gevierd en verheven, als men hem vroeger wantrouwend had verwaarloosd.

De ontdekking der planeet van LEVERRIER is welligt de treffendste en de schoonste der talrijke ontdekkingen, op welke de sterrekunde zich beroemen kan, en moge zij, in het oog van sterrekundigen, niet de grootste en gewigtigste wezen, hare uitkomst is voor elk begrijpelijk, zij heeft een, voor elk verstaanbaar blijk gegeven, van de bewonderenswaardige hoogte, tot welke de sterrekunde thans gestegen is, en zij zal, eeuwen lang, als een bewijs voor de voortreffelijkheid der sterrekunde worden aangevoerd. Deze omstandigheden maken het des te onregtvaardiger de verdiensten van eenen anderen jeugdigen wiskundige te miskennen, den Heer ADAMS te Cambridge, die LEVERRIER was voorgegaan, en zijne onderzoeking had voltooid, toen deze haar naauwelijks had aangevangen. ADAMS had reeds in September 1845, uit de beweging van Uranus, het bestaan der onontdekte planeet bewezen, en het punt van den hemel bepaald, waar zij zich moest laten vinden; maar, overdreven angstvallig, onderwierp hij zijne onderzoeking aan het oordeel van twee der meest beroemde sterrekundigen van Engeland, de Heeren AIRY en CHALLIS. De eerste

sloeg aan de verrassende uitkomst door ADAMS verkregen weinig geloof, zonder hare waarde met naauwgezetheid te toetsen, de andere was te zeer in zijne bezigheden verdiept, en geen van beiden heeft zich den arbeid van ADAMS bijzonder aangetrokken. Eindelijk den 29sten Julij 1846, nadat LEVERRIER de uitkomsten zijner berekeningen reeds had bekend gemaakt, begon CHALLIS, voor de opsporing der planeet, waarnemingen in het werk te stellen. Hij zette die den 4den en den 12den Augustus voort, maar met bezigheden bezet, door de toenmalige talrijke kometen uitgelokt, liet hij zijne waarnemingen aanvankelijk onherleid liggen, zoo dat zij ook niets konden leeren. Toen eindelijk de planeet door GALLE was gezien geworden, ging CHALLIS, die niet begunstigd was door het toeval, dat GALLE bijna alle moeite had bespaard, tot de herleiding zijner waarnemingen over, en het bleek toen, dat hij reeds op den 4den en den 12den Augustus, onder die van eene menigte sterren, ook de plaats der nieuwe planeet bepaald had, welke hij, onder zijne waarnemingen, niet van de sterren had kunnen onderscheiden. De waarheid van dit alles is zoo volkomen bewezen, dat alleen een blind vooroordeel haar betwijfelen kan. De planeet heeft echter den naam van LEVERRIER ontvangen. LEVERRIER wordt vergood als een wonder van zijne eeuw, en is van vele zijden op eene milde wijze beloond geworden. ADAMS daarentegen is alleen met twijfel aan zijne eerlijkheid bij sommige zijner landgenooten, en met smaadredenen en spotprenten van de zijde der Franschen vergolden, maar onbillijkheid kan de waarheid niet veranderen. LEVERRIER heeft zijne onderzoekingen het eerst bekend gemaakt, LEVERRIER heeft

gestadig ophelderingen omtrent den loop zijner onderzoekingen gegeven, die van iedereen eerbied voor zijnen ijver en zijne talenten afdwingen; ADAMS wilde aan de hand van anderen de wetenschappelijke wereld binnengeleid worden; hij zweeg en zag zich den eerepalm ontrukken. Moge de arbeid van ADAMS veel minder schoon dan die van LEVERRIER wezen, hetgeen zich nog niet volledig laat beoordeelen, hij kwam toch in het voorname punt, de plaats waar het ligchaam gezocht moest worden, tot dezelfde uitkomsten. Had hij, even als LEVERRIER, zijne onderzoekingen dadelijk na hare voltooijing, op eigen gezag, bekend gemaakt, ware het dan slechts een' sterrekundige ernst geweest zijne planeet op te sporen, zij zoude ontdekt geworden zijn vóór dat LEVERRIER zijne eerste verhandeling gaf omtrent de planeet Uranus, en niemand zoude er aan gedacht hebben den naam van LEVERRIER aan de nieuw ontdekte planeet te verbinden. De omstandigheid, dat men reeds jaren lang van de planeet, wier bestaan verondersteld moest worden, in onderscheidene werken, gesproken had; de omstandigheid, dat twee sterrekundigen, bijna gelijktijdig, geheel onafhankelijk van elkander, en uitgaande van gedeeltelijk verschillende waarnemingen. het punt van den hemel bepaalden, waar zij zich vertoonen moest, bewijst ons, dat de grootste eer der ontdekking toekomt aan de hooge voortreffelijkheid der tegenwoordige sterrekunde. Zij stelde beiden, LEVERRIER en ADAMS, tot hunne onderzoekingen in staat, die zij, zonder den arbeid van hunne voorgangers, zonder het bezit van talrijke, zeer juiste waarnemingen, niet hadden kunnen volbrengen.

§ 6.

Wij moeten nu eenen blik werpen op de storingen, welke de zoogenaamde *secundaire* ligchamen van ons planetenstelsel, namelijk, de wachters der planeten, ondergaan en teweegbrengen. Elk der stelsels van den tweeden rang, bestaande uit eene planeet en de wachters die zich om haar bewegen, heeft veel overeenkomst met het planetenstelsel zelf, als men daarin alleen de zon en de planeten beschouwt, en de wachters moeten dus op elkander eene storing uitoefenen, van dezelfde natuur als die, welke de planeten door elkanders aantrekking ondervinden; en, op dezelfde wijze als de planeten de zon verplaatsen, moeten de wachters hunne hoofdplaneten van hare eigenlijke loopbanen afleiden. Bij die kleinere stelsels zijn echter ook de omloopstijden kleiner, en een gevolg daarvan is, dat de ligchamen die het zamenstellen, na veel kortere tijdvakken dan de planeten, hunne vroegere betrekkelijke standplaats hernemen, en bij hen de storingen, na kleinere tijdvakken dan in het planetenstelsel, tot haar vorig bedrag terugkeeren. Sommige veranderingen in de loopbanen der planeten, die eerst in duizendtallen van jaren haren loop volbrengen, worden bij hare wachters in eens menschen leeftijd herhaaldelijk afgewisseld, en de stelsels van wachters zouden dus voor onze beoefening van de storingen, die de ligchamen des hemels in het algemeen ondergaan, bij uitstek geschikt wezen, waren zij niet te ver van ons verwijderd, om elke kleine plaatsverandering, tusschen de ligchamen die hen zamenstellen, voor ons bemerkbaar te maken. Buiten de wederkeerige werking die zij op elkander uitoefenen, onder-

gaan de wachters nog eene bijzondere soort van storingen, teweeggebragt door een zeer groot ligchaam, geheel buiten hun stelsel gelegen, namelijk de zon, die elke planeet met hare wachters zoo aanmerkelijk in grootte en massa overtreft. Bestonden er buiten het zonnestelsel zeer groote ligchamen, die een' merkbaar verschillenden invloed op de zon en de planeten uitoefenen, dan zouden ook deze nog andere storingen, dan die van hare wederkeerige werking ondervinden, maar alle ligchamen des hemels, die niet tot het zonnestelsel behooren, zijn zoo ontzettend ver verwijderd, dat zij de zon en de planeten op dezelfde wijze tot zich trekken, en deswege de beweging der laatste om de zon, op geene voor ons merkbare wijze verstoren kunnen. Even zoo als de storende invloed van eene planeet alleen bepaald wordt door het verschil in de aantrekkingen, welke zij op de zon en eene andere planeet uitoefent, moet ook de storende invloed van de zon op eenen wachter, alleen bepaald worden door het verschil in de wijze, waarop zij dien wachter en zijne hoofdplaneet tot zich trekt. De voorname beweging van de hoofdplaneet wordt door de zon bepaald, en, bij hare kringvormige beweging om de zon moet zij haren wachter medevoeren, die alzoo twee loopkringen gelijktijdig te beschrijven heeft. Beide, de hoofdplaneet en haar wachter, worden onophoudelijk door de zon aangetrokken; zij moeten zich daardoor ook onophoudelijk naar de zon bewegen, en deden zij dit niet, zij zouden, wegens de oorspronkelijke beweging der hoofdplaneet, terwijl de eene om de andere bleef rondloopen, gezamenlijk in eene regte lijn voortgaan, om het geheele zonnestelsel te verlaten. Als nu de aantrekking, die de zon op de hoofdplaneet

en haren wachter uitoefent voor beide ligchamen hetzelfde vermogen en dezelfde rigting had, dan zouden zij zich, door de aantrekking der zon, beiden evenveel en in dezelfde rigting verplaatsen; zij zouden beiden voortgaan, maar de betrekkelijke stand tusschen de hoofdplaneet en den wachter zoude niet veranderd worden, en de zon zoude geen' den minsten invloed, op de beweging van den laatsten om de eerste uitoefenen. De wachter en de hoofdplaneet nemen echter niet hetzelfde punt van de ruimte in en kunnen daardoor ook niet dezelfde aantrekking van de zon ondervinden. Bij de kringvormige beweging van den wachter om de hoofdplaneet, zal hij, uit de zon gezien, zich nu aan de linker- dan aan de regterzijde van de hoofdplaneet bevinden, nu eens zal hij even ver als zijne hoofdplaneet, dan weder zal hij op een' grooteren of op een' kleineren afstand dan zij van de zon verwijderd wezen. De werkingen, die de zon op eene planeet en haren wachter uitoefent, zijn dus ongelijk in rigting en in vermogen, en alleen door die ongelijkheid, kan de zon de beweging van den wachter om zijne planeet verstoren. Naar mate de loopbaan van eenen wachter grooter is met betrekking tot die van zijne hoofdplaneet, of in andere woorden, naar mate de afstand van den wachter tot zijne hoofdplaneet grooter is, met betrekking tot den afstand, waarop deze van de zon verwijderd is, zal de ongelijkheid en dus ook de storing grooter zijn. Naar mate de hoofdplaneet meer massa heeft, en dus sterker over haren wachter kan heerschen, is echter de invloed, welken de zon op diens beweging kan uitoefenen, kleiner. Om beide redenen bestaat er bij de overige planeten geen wachter, die

zoo sterke storingen als onze maan van de zon te ondervinden heeft.

De storingen, die de maan ondervindt, zijn in vele opzigten voor ons belangrijker dan die, welke de overige wachters ondergaan, en dit te meer, daar hare nabijheid, ook hare minste verplaatsing in de ruimte, voor onze waarnemingen, bemerkbaar moet maken. De overige planeten kunnen onze maan alleen op eene naauwelijks merkbare wijze verstoren, en daar zij de eenige wachter der aarde is, en dus geene werking van andere wachters heeft te ondervinden, kan de werking, die de zon op eenen wachter uitoefent, zich bij geenen der overige zoo zuiver, en zoo zeer in hare bijzonderheden, als bij onze maan openbaren. Wij zullen de voornaamste der storingen welke de maan ondervindt, met eenige uitvoerigheid beschouwen, niet alleen omdat zij alle overige storingen aanmerkelijk in grootte overtreffen, maar ook omdat zij bij uitstek geschikt zijn om, in het algemeen, een dieper inzigt in het eigenlijk wezen der storingen te geven, en om, ook in de gevallen, die wij niet opzettelijk behandelen kunnen, het verband tusschen de werking en hare gevolgen toetelichten.

§ 7.

Willen wij ons eenig denkbeeld vormen van den invloed, dien de zon op de beweging der maan moet uitoefenen, dan moeten wij ons herinneren dat de maan, reeds om hare, in zich zelve elliptische loopbaan, op verschillende afstanden van de aarde komt, en met eene veranderlijke snelheid voortgaat. De plaats aan den hemel, waar wij de maan zien, kan van die,

waar wij haar zien zouden, als zij zich, bij denzelfden omloopstijd, met een' eenparigen tred om de aarde bewoog, meer afwijken dan twaalf malen hare middellijn bedraagt. Die onregelmatigheid in de beweging der maan is geheel aan de tweede wet van KEPPLER gebonden, en van de werking der zon onafhankelijk. Verbeelden wij ons nu dat de maan, zich in hare elliptische loopbaan voortbewegende, eenen stand aanneemt, waarbij zij juist tusschen de zon en de aarde geplaatst wordt. De aarde en de maan worden beide door de zon aangetrokken, maar de maan is het digst bij de zon, zij wordt dus sterker dan de aarde naar de zon getrokken, zij moet zich meer dan de aarde naar de zon bewegen, en de afstand tusschen de maan en de aarde wordt vergroot. Bevindt de maan zich aan de tegenovergestelde zijde van hare loopbaan, zoodat de aarde tusschen haar en de zon geplaatst is, dan zal de aarde zich het digst bij de zon bevinden, zij zal zich meer dan de maan naar de zon bewegen, en de afstand tusschen de maan en de aarde zal andermaal vergroot worden. Als de maan ter zijde van de aarde geplaatst is, zoo dat haar afstand tot de zon gelijk aan dien der aarde wordt, dan zullen beide ligchamen even sterk worden aangetrokken. Zij zullen zich dan beide evenveel bewegen, maar hunne bewegingen zijn naar één punt, namelijk het middelpunt der zon, gerigt, en zij kunnen zich niet met denzelfden tred naar hetzelfde punt bewegen, met betrekking tot hetwelk zij in verschillende rigtingen geplaatst zijn, zonder hunnen onderlingen afstand te verminderen. In dat geval wordt dus de afstand van de maan tot de aarde verkleind, maar het is ligt na te gaan dat die verkleining veel minder dan de

vroegere vergrooting bedragen moet, zoo dat de vergrooting van den afstand der maan tot de aarde aan het eene deel harer loopbaan de verkleining aan het andere deel overtreft, en over het geheel genomen eene vergrooting overblijft. Door de werking der zon wordt dus de geheele loopbaan der maan en daardoor weder haar omloopstijd vergroot, en hield de zon op hare werking uitteoefenen, dan zoude de maan eenige honderde mijlen digter bij de aarde komen, en zich met eene eenigzins grootere snelheid om haar bewegen. Over het geheel genomen wordt de afstand van de maan tot de aarde, door de werking der zon, met een 357ste deel zijner waarde vergroot, en hare snelheid met een 178ste deel harer waarde verminderd. Die vermeerdering en vermindering geldt echter volstrekt niet voor elke plaats, die de maan in hare loopbaan kan innemen. Het is ons namelijk gebleken, dat de loopbaan der maan om de aarde, onder de werking der zon, hare gedaante aanmerkelijk moet veranderen. In de rigting naar de zon toe wordt zij uitgerekt, in eene rigting loodregt daarop wordt zij ingedrukt. De loopbaan der maan is dus niet meer eene zuivere ellips, en de verandering harer snelheid kan daardoor niet met de tweede wet van KEPPLER overeenkomen. De verandering, die de afstand van de maan tot de aarde door de werking der zon ondergaat, hangt niet alleen af van de standen welke de zon en de maan voor ons oog aan den hemel innemen, maar ook van den afstand der maan tot de aarde zelve, welke door de elliptische loopbaan der maan veranderlijk is. De misvorming, die de loopbaan der maan ondergaat, moet dus ook van hare eigene gedaante en ligging in de ruimte afhangen, waardoor zij eene grootere zamen-

gesteldheid verkrijgt, dan dit bij eene oppervlakkige beschouwing schijnen moet. Deze werking der zon moet echter hoofdzakelijk hierop nederkomen, dat de maan zich bij de nieuwe en de volle maan van de aarde verwijdert, en bij de kwartiers maneschijnen tot haar nadert, zoodat zij zich bij de nieuwe en volle maan langzamer en bij de kwartiers maneschijnen schielijker beweegt, dan zij dit, naar de tweede wet van KEPPLER doen moest. Deze onregelmatigheid in de beweging der maan was reeds bij de ouden bekend. Zij draagt den naam van *evectie*, en kan de maan zoo veel verplaatsen als $2\frac{1}{2}$ malen hare middellijn bedraagt.

Wij hebben tot nu toe alleen het gedeelte van de werking der zon beschouwd, dat regtstreeks den afstand van de maan tot de aarde verandert, maar ook de rigting waarin wij de maan zien, moet, door de zon, onmiddellijk veranderd worden. Als de zon de maan en de aarde tot zich trekt, terwijl zij met haar in dezelfde regte lijn gelegen zijn, zal daardoor wel de grootte, maar niet de ligging van de lijn tusschen de aarde en de maan veranderd worden, en die aantrekking zal dus niet regtstreeks, voor ons oog, de plaats van de maan aan den hemel veranderen. Bevinden de maan en de aarde zich op denzelfden afstand van de zon, dan zal de lijn van de aarde naar de maan loopende, bijna loodregt staan op de rigting, waarin wij de zon zien. Door de aantrekking van de zon zullen de maan en de aarde zich dan evenveel verplaatsen, en de genoemde lijn zal evenwijdig aan zich zelve voortgaan. Die lijn blijft dus op hetzelfde punt van den hemel gerigt, zoo dat, ook in dien stand, de werking der zon niet regt-

streeks, voor ons oog, de plaats van de maan aan den hemel wijzigt. In elken anderen stand zal de rigting van de lijn die van de aarde naar de maan loopt, door de ongelijke aantrekking van de zon op de aarde en de maan veranderd worden; maar de maan kan de rigting waarin wij haar zien niet veranderen, zonder hare plaats in hare loopbaan te veranderen, en deze weder kan zonder eene verandering in hare snelheid niet bestaan. Zoo vindt men, dat door deze onmiddellijke werking der zon, verbonden met de verschillende rigtingen in welke de maan zich, met betrekking tot de zon, om de aarde beweegt, de snelheid der maan vergroot wordt, tusschen het eerste kwartier en de volle maan, en tusschen het laatste kwartier en de nieuwe maan; terwijl zij verminderd wordt tusschen de nieuwe maan en het eerste kwartier, en tusschen de volle maan en het laatste kwartier. Uit deze veranderlijke snelheid der maan moet eene nieuwe misvorming van hare loopbaan voortvloeijen, door welke zij uitgerekt wordt in eene rigting loodregt op de lijn van de aarde naar de zon loopende. Door deze onregelmatigheid, welke den naam van *variatie* draagt, kan de maan zich zoo veel verplaatsen als hare middellijn bedraagt.

Met de evectie en de variatie verbindt zich nog eene andere onregelmatigheid in de beweging der maan, die hare *jaarlijksche vereffening* genoemd wordt, en door welke de omloopstijd der maan, gedurende de eene helft van het jaar, regelmatig wordt verlengd, en gedurende de andere helft regelmatig wordt verkort. Wij hebben reeds gezien, dat de invloed van de zon op de loopbaan der maan grooter moet wezen, naar mate de afstand van de maan tot de aarde grooter

is, met betrekking tot den afstand der aarde tot de zon. Daar de aarde eene elliptische loopbaan om de zon beschrijft, is haar afstand tot de zon veranderlijk. Gedurende de eene helft van het jaar zal die afstand bestendig toenemen. In dien tijd wordt de afstand van de maan tot de aarde bestendig kleiner, met betrekking tot den afstand der zon; de zon zal de loopbaan der maan gestadig minder vergrooten; de door de zon gewijzigde loopbaan der maan zal gestadig kleiner worden, en daarom zal ook haar omloopstijd afnemen, terwijl hare gemiddelde snelheid grooter wordt. Gedurende de andere helft van het jaar moet de aarde haren afstand van de zon verminderen; de afstand der maan wordt daardoor grooter met betrekking tot die der zon, de werking der zon op de loopbaan der maan wordt verhoogd, die loopbaan wordt, gedurende dat tijdvak, met den omloopstijd gestadig vergroot, en de gemiddelde snelheid der maan wordt verminderd. Tegenwoordig komt de aarde op den 1sten Januarij van elk jaar het digst bij de zon; de loopbaan der maan en haar omloopstijd zullen dan zoo groot mogelijk zijn. Op den 2den Julij van elk jaar is de aarde zoo ver mogelijk van de zon verwijderd en de loopbaan, zoo wel als de omloopstijd der maan, zullen hunne kleinste waarde verkrijgen. De loopbaan der aarde ondergaat eene langzame plaatsverandering in de ruimte, waardoor de aarde met den loop der eeuwen op andere dagen van het jaar haren grootsten en kleinsten afstand van de zon bereiken zal, en ook de jaarlijksche vereffening van de beweging der maan gewijzigd moet worden. Door de jaarlijksche vereffening worden de afmetingen van de loopbaan der maan zoo veel veranderd, als

een vijfduizendste deel van hare waarde bedraagt, en de plaatsverandering, die de maan zelve door haar ondergaan kan, bedraagt omtrent een derde deel van hare middellijn.

Bij de nieuwe maan is de maan aanmerkelijk digter bij de zon dan bij de volle maan, en de aantrekking der zon neemt in eene sterkere verhouding toe, dan waarin de afstand vermindert. Bij de nieuwe maan moet de maan zich dus, door de werking der zon, verder van de aarde verwijderen dan bij de volle maan. Daardoor wordt de loopbaan der maan, aan de zijde naar de zon toegekeerd, meer uitgerekt dan aan de zijde van de zon afgekeerd, en hieruit moet eene wijziging in de evectie ontstaan, die als eene nieuwe storing beschouwd wordt. Die storing moet geheel afhangen van de verhouding, welke tusschen de afstanden van de zon en de maan tot de aarde bestaat, en uit haar moet dus die verhouding afgeleid kunnen worden. De afstanden der hemellichten bepalen de schijnbare plaatsverandering welke zij ondergaan, als zij uit een veranderlijk oogpunt beschouwd worden. Die plaatsverandering draagt den naam van *parallaxis*, en van daar heeft de genoemde onregelmatigheid den naam van *parallactische vereffening* gekregen. Haar bedrag is, met betrekking tot de genoemde storingen, gering.

De onregelmatigheden in de beweging der maan, die wij beschreven hebben, moeten alle, op eene zamengestelde wijze, op elkander terug werken. De eene wijzigt de andere, en die gewijzigd is, verandert daardoor weder die door welke zij gewijzigd is geworden. De wederkeerige werking der storingen, die de maan ondervindt, hebben alzoo nieuwe storingen

ten gevolge, en het getal dier storingen zoude reeds oneindig groot zijn, al vloeiden zij alleen uit de reeds genoemde oorzaken voort. Ook hier worden de werkingen en terugwerkingen allengs kleiner, maar er blijft toch een honderdtal storingen over, die men bij eene zeer naauwkeurige bepaling van de beweging der maan in rekening brengen moet.

§ 8.

Tot de werkingen, die de zon op de beweging der maan uitoefent, behooren nog eenige, die wij niet met stilzwijgen mogen voorbijgaan, en de kleinste maar merkwaardigste van deze is eene langzame toeneming in de snelheid der maan, die groot genoeg is, om zich door eene vergelijking van de nieuwe waarnemingen met de oude duidelijk te openbaren. Met deze vermeerdering in de snelheid der maan, die men de *seculaire vereffening* harer beweging noemt, is eene verkleining van hare loopbaan en eene trapsgewijze toenadering tot de aarde onafscheidelijk verbonden. Zij werd reeds in het begin der achttiende eeuw ontdekt, en het bleek dat zij, sedert den tijd waarop de alleroudste waarnemingen hebben plaats gehad, bestendig in denzelfden zin was voortgeloopen, en zij trok des te meer de aandacht, daar zij, zonder haren loop te veranderen, de maan eenmaal op de aarde zoude moeten doen nederstorten. Deze veranderlijkheid in de snelheid der maan heeft de wis- en sterrekundigen, gedurende een' langen tijd, op eene bittere wijze gekweld, daar het onmogelijk scheen haar uit de werking der zon, of uit die der aarde, of uit die der planeten te verklaren. Sommigen oordeelden

het het gemakkelijkst, het geheele bestaan dier versnelling te loochenen, hetgeen toch ook niet gelukte, daar zij door talrijke oude waarnemingen volkomen bewezen werd. Anderen meenden dat de aantrekkingskracht nog wel eene onbekende eigenschap kon bezitten, door welke die toenadering van de maan tot de aarde werd teweeggebragt, of dat men hare oorzaak geheel buiten de aantrekkingskracht moest zoeken. Nog anderen namen weder hunne laatste toevlugt tot de kometen, maar ook door de tusschenkomst van die ligchamen liet zich het zonderlinge verschijnsel in de beweging der maan niet verklaren. Eindelijk rukte ook hier de kracht van LAPLACE den slagboom open, en het verschijnsel bleek een louter gevolg te zijn van de werking, die de zon op de maan uitoefent, maar verbonden met de uiterst langzame verandering, welke de gedaante van de loopbaan der aarde ondergaat. De loopbaan der aarde nadert tegenwoordig bestendig tot den ronden vorm. Die vermindering van hare langwerpige gedaante heeft reeds meer dan twintig duizend jaren geduurd, en zij zal nog meer dan twintig duizend jaren aanhouden, en zoo lang als zij in stand blijft, moet de maan bestendig tot de aarde naderen en hare snelheid vergrooten. Eenmaal moet de loopbaan der aarde echter weder meer van de ronde gedaante afwijken, hetgeen over vier-en-twintig duizend jaren zal aanvangen, en dan gedurende vijftig duizend jaren zal stand houden. In dat tijdvak moet de maan zich weder bestendig van de aarde verwijderen en hare snelheid verminderen, maar al die vermeerder- en verminderingen zijn, even als de verandering in de gedaante van de loopbaan der aarde, binnen zeer enge grenzen ingesloten. De

vermeerdering, die de snelheid der maan thans in eene eeuw ondergaat, is niet meer dan één honderdmillioenste deel van haar bedrag, en de geheele toenadering van de maan tot de aarde bedraagt thans, in eene eeuw, niet meer dan negen voeten. Eene zoo kleine verandering zoude zeker voor ons onmerkbaar blijven, ware het niet dat de maan, in eene eeuw, meer dan twaalfhonderd malen haren loop om de aarde volbragt. Daardoor worden de gevolgen van haren veranderden omloopstijd zeer sterk opgehoopt, en eindelijk merkbaar aan de plaats, die de maan voor ons oog aan den hemel inneemt.

Nog twee werkingen van de zon op de beweging der maan zijn juist het tegenovergestelde van die, welke wij het laatst beschouwd hebben, want zij zijn even in het oog loopend als deze verborgen is, hare oorzaak is even ligt te ontdekken, als die van deze geheimzinnig was. De zon en de aarde streven, door hare aantrekking, steeds om de maan in de vlakte van de loopbaan der aarde te brengen, maar daartegen verzet zich de beweging van de maan om de aarde, en een gevolg van deze vereenigde werkingen is eene groote verandering in de ligging van de loopbaan der maan. De hoek, dien de loopbaan der maan met de loopbaan der aarde maakt, ondergaat daardoor eene kleine en afwisselende verandering, waardoor de loopbaan der maan kleine schommelingen volbrengt, even als eene deur, die een weinig om hare hengsels wordt heen en weder bewogen, maar de gemiddelde helling van de loopbaan der maan blijft onder die werking onveranderd. De lijn, onder welke de loopbaan der maan die der aarde doorsnijdt, verandert door die werking hare ligging. Zij gaat nu eens vooruit en dan

eens achteruit, maar de achteruitgang overtreft den vooruitgang, en daardoor draait die lijn zich eenmaal, in den tijd van 18 jaren en 219 dagen, geheel in het rond, in eene rigting tegenovergesteld aan die, in welke de maan zelve in hare loopbaan voortgaat.

Door de werking der zon op de maan moet de loopbaan der laatste haren vorm veranderen, en ronder of langwerpiger worden naar gelang van den stand, dien hare groote as met betrekking tot de zon inneemt. Daarenboven moet ook de ligging van die as door de werking van de zon veranderd worden. Als de as naar de zon gerigt is, draait zij zich om, in eene tegenovergestelde rigting als die waarin de maan zich beweegt, wanneer de maan het digtst bij de aarde staat, en zij draait zich met de maan mede, als deze het verst van de aarde verwijderd is; maar de laatstgenoemde beweging is de sterkste. Als de groote as van de loopbaan der maan loodregt staat op de lijn van de aarde naar de zon getrokken, zal in beide gevallen het tegenovergestelde plaats hebben, en de teruggaande omwenteling van de as zal daarbij de grootste wezen. Deze bewegingen van de as van de loopbaan der maan smelten te zamen met de verandering in de gedaante dier loopbaan, en maken met haar de zoogenaamde evectie uit, maar zij herstellen zich niet volkomen bij elke wenteling van de maan om de aarde. De vooruitgang, als de as naar de zon gerigt is, is grooter dan de teruggang, wanneer zij op de rigting der zon loodregt staat, en er blijft dus in het geheel een vooruitgang over. De groote as van de loopbaan der maan en daarmede die loopbaan zelve moet zich dus, over de vlakte waarin zij zich bevindt, om de aarde omdraaijen, in dezelfde rigting

als waarin de maan zich beweegt, en de geheele wenteling wordt in den tijd van 8 jaren en 311 dagen volbragt.

§ 9.

Wij zouden naauwelijks een einde aan onze beschouwingen weten te maken, als wij al de merkwaardige verschijnselen in de beweging van den wachter onzer aarde wilden mededeelen, die de algemeene aantrekkingskracht tot grondoorzaak hebben. Er is echter nog eene soort van werkingen, tusschen de maan en de aarde, door de afgeplatte gedaante der aarde teweeggebragt, over welke wij nog niet gehandeld hebben, en die wij hier niet met stilzwijgen kunnen voorbijgaan. — Wanneer in een ligchaam, van eene volmaakt kogelvormige gedaante, de stof op eene gelijkmatige wijze verdeeld is, zoo dat zij overal in dat ligchaam dezelfde digtheid heeft, of ook wanneer de stof in dat ligchaam slechts op dezelfde afstanden van zijn middelpunt dezelfde digtheid bezit, al is die digtheid met dien afstand veranderlijk, dan zal dat ligchaam zoodanig aantrekken en zoodanig aangetrokken worden, als of zijne geheele massa in zijn middelpunt vereenigd ware. Indien de aarde volkomen kogelvormig ware, zoude dus de aantrekking, die zij op ligchamen buiten haar uitoefent, in alle omstandigheden tot haar middelpunt herleid kunnen worden, en hare aantrekking zoude alleen van hare massa en den afstand van het aangetrokken ligchaam tot haar middelpunt afhangen. Insgelijks zoude, in dat geval, de werking, die andere ligchamen des hemels op de aarde uitoefenen, geheel en al tot haar middelpunt

kunnen worden overgebragt; door die werking zoude elk deel der aarde volkomen op dezelfde wijze als haar middelpunt verplaatst worden, en hare omwenteling of omwentelings-as zoude geene de minste verandering kunnen ondergaan. Nu de aarde eene merkbare afgeplatte gedaante heeft, is de aantrekking, die zij ondergaat of uitoefent, geenszins zoo eenvoudig, en de invloed van hare gedaante verraadt zich vooral in hare beweging en in die van haren wachter. De aarde wordt onophoudelijk door de zon en de maan aangetrokken; door hare afgeplatte gedaante zijn hare middellijnen ongelijk van lengte, en altijd heeft zij de neiging om zich met hare langste middellijnen naar de maan en de zon te rigten. Door de aantrekking van de zon en de maan streeft dus de aequator der aarde altijd, om met de vlakte van de loopbaan der aarde zaam te vallen, en werd die neiging door niets bestreden, dan zoude de aarde werkelijk spoedig aan haar voldoen; hare omwentelings-as zoude een' loodregten stand op de vlakte van hare loopbaan aannemen, de afwisseling der jaargetijden zoude geheel ophouden te bestaan, en de aarde zoude over een veel kleiner deel van hare oppervlakte, dan nu, bewoonbaar worden. Tegen die beweging van den aequator, of van de as der aarde, verzet zich echter de snelheid, waarmede zij zich om hare as wentelt, en door die wenteling wordt de beweging van de as der aarde, die zij door de aantrekking van zon en maan alleen zoude aannemen, geheel omgekeerd. De as der aarde blijft haren schuinschen stand, met betrekking tot de vlakte van hare loopbaan, behouden, maar draait zich, met die onveranderlijke helling, regelmatig in het rond. Men kan zich die beweging van de as der aarde vol-

komen duidelijk voorstellen, als men eenen passer opent, en, zijn eene been loodregt op de vlakte van eene tafel houdende, het andere been in de rondte laat draaijen. De vlakte van de tafel vertegenwoordigt dan de vlakte van de loopbaan der aarde. Het been des passers, dat men loodregt op die vlakte plaatste, vertegenwoordigt eene lijn, loodregt op de vlakte van de loopbaan der aarde; het andere been vertegenwoordigt de omwentelings-as der aarde. Door middel van den passer ziet men duidelijk, hoe de omwentelings-as der aarde in de rondte draait, haren schuinschen stand onveranderlijk behoudende. Men ziet dat zij de oppervlakte van eenen kegel beschrijft, die loodregt staat op de vlakte van de loopbaan der aarde; dat zij gestadig naar andere punten van den hemel gerigt wordt; dat de pool des hemels haren stand met betrekking tot de sterren gestadig moet veranderen, en dat deze regelmatig eenen cirkel aan den hemel moet beschrijven, hebbende tot middelpunt het punt van den hemel, door eene loodlijn op de vlakte van de loopbaan der aarde aangewezen. Die beweging van de as der aarde, welke in eene rigting plaats heeft, tegenovergesteld aan die, in welke de aarde zelve zich beweegt, is echter zoo langzaam, dat die as slechts eenmaal in 25600 jaren hare omwenteling volbrengt. Door haar moet de lijn, onder welke de aequator en de loopbaan der aarde elkander doorsnijden, in hetzelfde tijdvak, zich eenmaal in de rondte draaijen. Door haar worden in het oog loopende verschijnselen des hemels teweeggebragt, en moet het voorkomen van den hemel, aan dezelfde plaats der aarde, door den tijd eene groote verandering ondergaan. Aan deze zoogenaamde *praecessie* hebben de

zon en de maan beide deel, maar het grootste gedeelte wordt door de maan veroorzaakt. De maan is gedurende de eene helft van haren omloopstijd boven, gedurende de andere onder de vlakte van de loopbaan der aarde, en behield die loopbaan dienzelfden stand, dan zoude de werking van de maan, op eene onveranderlijke wijze, met die der zon zamensmelten. Doordien de lijn, onder welke de loopbaan der maan en die der aarde elkander doorsnijden, zich in de rondte draait, is de werking van de maan veranderlijk, en het veranderlijke deel van die werking heeft nog eene tweede, maar zeer kleine verplaatsing van de as der aarde ten gevolge, door welke zij, in 18 jaren en 219 dagen, nog eene kleine wenteling ondergaat, om den stand dien zij zoude innemen, indien de werking der maan standvastig ware. Deze kleine beweging van de as der aarde noemt men hare *nutatie.* De praecessie kon reeds de aandacht der ouden niet ontsnappen. De nutatie werd in het begin der vorige eeuw ontdekt, en later heeft men in haar een uitstekend middel gevonden om de massa der maan te bepalen.

De aarde laat de werking, die de maan op hare afgeplatte gedaante uitoefent, volstrekt niet onvergolden, maar veroorzaakt wederkeerig, door hare gedaante, nieuwe onregelmatigheden in de beweging der maan. De nutatie, door de maan in de as der aarde en dus ook in haren aequator teweeggebragt, moet op de loopbaan der maan zelve terugwerken, en ook bij die loopbaan eene nutatie teweegbrengen, bestaande in eene kleine schommeling om hare gemiddelde ligging. Die verplaatsing van de loopbaan der maan laat zich zeer goed waarnemen, en voor de bepaling van de

afplatting der aarde aanwenden. Nog op eene geheel andere wijze heeft de afgeplatte gedaante der aarde eene verandering in de beweging der maan ten gevolge. Doordien de aarde geene volkomen kogelvormige gedaante heeft, zal zij, ook bij dezelfde afstanden, in alle rigtingen om haar heen, de maan niet met hetzelfde vermogen aantrekken. De grootste doorsnede van de aarde is haar aequator. Een ligchaam, in de rigting van den aequator der aarde gelegen, heeft de meeste stofdeelen der aarde tot zich gekeerd, en wordt daardoor sterker aangetrokken dan een ander, dat, op denzelfden afstand, in een' schuinschen stand met betrekking tot den aequator geplaatst is. Een ligchaam van eene afgeplatte gedaante, zoo als de aarde, oefent, in de rigting van zijnen aequator, eene sterkere, en in de rigting van zijne as, eene mindere aantrekking uit, dan een kogel van dezelfde massa. Nu verandert de aequator zijnen stand met betrekking tot de loopbaan der aarde zeer langzaam. De loopbaan der maan daarentegen verplaatst zich zeer schielijk, zoodat zij in minder dan 19 jaren den hoek, dien zij met de loopbaan der aarde maakt, naar alle zijden van den hemel keert. Daardoor zal de loopbaan der maan in denzelfden tijd hare ligging met betrekking tot den aequator der aarde merkbaar veranderen. Nu zal zij eenen meer, dan weder eenen minder schuinschen stand met betrekking tot den aequator der aarde aannemen, en naar mate zij een' kleineren hoek met den aequator der aarde maakt, zal ook de maan sterker door de aarde aangetrokken worden. Met die sterkere aantrekking is eene versnelling in de beweging der maan en eene verkorting van haren omloopstijd onafscheidelijk verbonden (§ 95 bl. 179).

Zoo ontstaat door de afplatting der aarde eene verandering in de gemiddelde snelheid der maan, die zich telkens na 18 jaren en 219 dagen, als de loopbaan der maan haren vorigen stand hernomen heeft, herstelt, die groot genoeg is om voor onze waarnemingen bemerkbaar te zijn, en weder voor de bepaling van de afplatting der aarde kan dienen. Men heeft, uit die twee storingen in de beweging der maan, de gedaante der aarde afgeleid, en die met de uitkomsten, door den slinger en de regtstreeksche metingen verkregen, in eene zeer schoone overeenstemming gevonden. Het is inderdaad ten hoogste merkwaardig, dat een sterrekundige, zonder zijne plaats te verlaten, en alleenlijk de beweging der maan bespiedende, daardoor, met eene hooge naauwkeurigheid, de gedaante van het ligchaam waarop hij woont, bepalen kan.

§ 10.

Alvorens de storingen, die de maan in haren loop ondervindt, geheel te verlaten, moeten wij onze lezers nog op een paar bijzonderheden opmerkzaam maken. Door de aantrekking der maan wordt ook de aarde in hare beweging verstoord. Niet alleen moet de aarde zich in eene ellips om het gemeenschappelijk zwaartepunt van beide ligchamen bewegen, maar daarenboven moeten al de storingen, die de maan ondervindt, op de aarde terugwerken, en de aarde moet in alle storingen der maan deelen, maar daar de aarde 88 malen meer massa heeft dan de maan, zijn al die terugwerkingen ook 88 malen kleiner dan de werkingen, door welke zij worden teweeggebragt. Die storingen der aarde worden ons ook daardoor veel min-

der merkbaar, dat zij zich het eerst aan de schijnbare beweging van de zon verraden, die 400 maal verder dan de maan van ons verwijderd is. De storingen, die de maan door de regtstreeksche werking der planeten ondergaat, is bij uitstek gering, en zoude nog veel geringer wezen, werden zij niet door hare terugwerking op de aarde vergroot. Overigens vindt men in de beweging der maan eenige voorbeelden van duurzame betrekkingen, door de onderlinge aantrekking van de ligchamen des hemels tot stand gebragt. De aantrekking der aarde bepaalt de wenteling der maan om hare as, die, in weerwil van de talrijke storingen der maan, ongehinderd met eene eenparige snelheid voortgaat, en door de aarde zelve belet wordt in andere storingen te deelen, dan die uiterst langzame en bijna eenparig voortgaande, welke meer bijzonder seculaire storingen genoemd worden. (§ 81 bladz. 152). Door de aantrekking der aarde wordt de maan gedwongen zich juist in denzelfden tijd om hare as te wentelen, als waarin zij, gemiddeld, haren loop om de aarde volbrengt. Door de vereenigde werking van de zon en de aarde moeten drie vlakten, namelijk die van den aequator der maan, de loopbaan der maan en de loopbaan der aarde, elkander altijd onder juist dezelfde lijn doorsnijden; en als de ligging van de loopbaan der aarde, door de aantrekking der planeten, veranderd wordt, wordt door de werking der zon, de loopbaan der maan telkens weder tot hare oorspronkelijke helling op de loopbaan der aarde teruggebragt. De juiste kennis van de beweging der maan is niet alleen van een zuiver wetenschappelijk, maar ook van het hoogste maatschappelijk belang, want door haren vooruit

berekenden stand aan den hemel, bepaalt de zeeman de plaats van zijn schip, terwijl hij weken of maanden achtereen geenen blik op het vaste land der aarde werpen kan. De beweging der maan heeft, vooral in deze eeuw, vele scherpzinnige en hoogst moeijelijke onderzoekingen uitgelokt, onder welke die van den beroemden HANSEN de grootste meesterstukken zijn van ijver en talenten. Die onderzoekingen waren voor de volmaking der zeevaart onmisbaar, en blijven voor hare instandhouding noodwendig.

Het is klaar, dat er veel overeenkomst bestaan moet tusschen de storingen der maan en die, welke eene planeet van eene andere ondervindt, ver buiten haren loopkring geplaatst, ofschoon in dat geval het storend ligchaam veel kleiner is dan dat, hetwelk de voorname beweging bepaalt. De planeet Mercurius b. v. ondervindt door de werking van Jupiter soortgelijke storingen als die, welke, door de zon, in de beweging der maan worden teweeggebragt, en die in de vorige bladzijden beschreven zijn, maar zij zijn alle veel kleiner. De storingen, welke Venus, de Aarde en Mars van Jupiter ondervinden, kunnen ook nog bij die der maan vergeleken worden, maar als de loopbaan van de storende en de gestoorde planeet minder in grootte van elkander verschillen, verkrijgen de storingen een ander beloop, omdat dan de afstanden en de rigtingen tusschen beide ligchamen aan zeer groote veranderingen onderworpen zijn. De storingen, welke eene planeet op eene andere, die buiten haren loopkring geplaatst is, uitoefent, hebben weder een geheel ander beloop, iets waarvan men zich, door het medegedeelde, ligtelijk zal kunnen overtuigen.

§ 11.

De wachters der overige planeten moeten soortgelijke storingen als de maan, door de werking der zon en der planeten, ondervinden, maar die storingen worden, naar den bijzonderen toestand van het stelsel, waartoe de wachters behooren, zeer aanmerkelijk gewijzigd. Zij ondergaan daarenboven nog eene andere soort van storingen, welke bij onze maan geene plaats hebben, die door hunne wederkeerige werking op elkander veroorzaakt worden, en die eenigermate overeenkomen met de storingen, welke de planeten elkander toebrengen. De eenige planeten, buiten onze aarde, bij welke wij wachters kennen, zijn Jupiter, Saturnus en Uranus. Die planeten zijn alle veel grooter dan de aarde, zij voeren daardoor hunne wachters met eene veel grootere snelheid om zich rond, zij heerschen met een veel grooter vermogen over hunne wachters en gedoogen daardoor, in hen, alleen een' veel geringeren invloed van werkingen, die niet uit hen zelven voortkomen. Het stelsel der wachters van Jupiter alleen is, met betrekking tot de storingen die het ondergaat, volledig en strengelijk onderzocht. De wachters van Jupiter zijn reeds sedert een paar eeuwen waargenomen. Zij verraden zich reeds door een' zeer kleinen kijker, terwijl slechts één wachter van Saturnus zich ligtelijk laat waarnemen, en die van Uranus, zelfs met de grootste kijkers van den tegenwoordigen tijd, zich naauwelijks of in het geheel niet laten vinden. De wachters van Saturnus en Uranus missen daardoor het belang dat die van Jupiter hebben ingeboezemd, wier beweging vele schoone onderzoekingen heeft uitgelokt en wier storingen, met geene veel

mindere juistheid dan die van onze maan, zijn bekend geworden.

De planeet Jupiter voert hare wachters 16 malen schielijker om zich rond dan de aarde dit doen zoude, als zij op dezelfde afstanden van haar verwijderd waren. De afstand, waarop de uiterste wachter van Jupiter verwijderd is, is met betrekking tot diens afstand van de zon, omtrent even zoo groot als de afstand der maan van de aarde, met betrekking tot den afstand, waarop de aarde van de zon verwijderd is. De uiterste wachter van Jupiter zoude dus, door de werking der zon, omtrent dezelfde storingen als onze maan ondervinden, indien de massa dier planeet even groot als die der aarde ware, maar de massa dier planeet is 343 malen grooter, en daarom zijn de genoemde storingen, in het algemeen, ook 343 malen kleiner. De storingen, welke de uiterste wachter van Jupiter door de zon ondergaat, zijn daardoor zoo gering, dat wij ze niet dan door de fijnste waarnemingen bemerken kunnen, en het is klaar, dat die storingen, bij de overige wachters van Jupiter, nog veel onaanzienlijker wezen moeten. Daarentegen brengt Jupiter, door zijne groote massa met zijne sterke afplatting verbonden, uit zich zelven, veel grootere storingen aan den loop zijner wachters toe, dan de aarde aan onze maan toebrengen kan. De wachters van Jupiter bewegen zich bestendig, op weinig na, in de vlakte van zijnen aequator, maar, bij een ligchaam van zoo sterk afgeplatte gedaante, vermindert zich de aantrekking, bij eene vermeerdering van den afstand, op eene eenigzins andere wijze dan bij eenen kogel, en daaruit ontstaat eene omdraaijende beweging in de loopbanen der wachters, over de vlakte, in

welke zij zich bevinden. Bij de maan is die beweging, voor zoo ver zij uit de afgeplatte gedaante der aarde voortvloeit, niet of naauwelijks merkbaar. Bij Jupiter daarentegen is zij veel grooter dan de soortgelijke beweging, die door de werking der zon veroorzaakt wordt. Ofschoon het stelsel der wachters van Jupiter tweeduizend malen verder dan de maan van ons verwijderd is, en de storingen die het ondervindt, voor ons, in dezelfde mate, minder bemerkbaar moeten wezen, laat zich de storende invloed, dien Jupiter, door zijne afgeplatte gedaante, op zijne wachters uitoefent, zeer goed door onze waarnemingen bepalen. Men heeft zelfs, uit de beweging der wachters van Jupiter, de afplatting dier planeet afgeleid, en de uitkomsten, op die merkwaardige wijze verkregen, in volkomene overeenstemming met die der regtstreeksche metingen gevonden.

De wachters van Jupiter brengen elkander zeer aanmerkelijke storingen toe, die, wegens de betrekking, welke tusschen hunne omloopstijden bestaat, verschijnselen opleveren, die door de wederkeerige werking der planeten naauwelijks in het ruwe wordt nagebootst. De drie binnenste wachters staan bijna geheel op zich zelve; zij ondergaan veel grootere storingen dan de vierde of uiterste, en aan die storingen neemt de laatstgenoemde naauwelijks eenig aandeel. De loopbanen van de twee binnenste wachters zijn van nature zoo volkomen rond, dat onze waarnemingen volstrekt geene afwijking van de ronde gedaante bij haar doen ontdekken, maar, door de wederkeerige werking dier ligchamen, worden hunne loopbanen op eene merkwaardige wijze veranderd. Door die wederkeerige werking, verbonden met de omstandigheid, dat de

omloopstijd van den tweeden wachter iets grooter is dan het dubbel van den omloopstijd des eersten, worden beide loopbanen elliptisch. De groote assen van die valsche elliptische loopbanen vallen altijd te zamen, zij draaijen zich gemeenschappelijk in 486 dagen om, en zoo dikwijls als de twee wachters, aan dezelfde zijde van de zon, met haar in dezelfde lijn geplaatst zijn, moeten ook die gemeenschappelijke assen met die lijn zamenvallen. Eene soortgelijke werking bestaat ook tusschen den derden en den tweeden wachter, daar de omloopstijd van den derden iets grooter is dan het dubbel van den omloopstijd des tweeden. De loopbaan des derden wachters is van nature een weinig langwerpig, maar hare gedaante wordt door den tweeden wachter aanmerkelijk gewijzigd. De eerste en derde wachter werken beide op de loopbaan van den tweeden in denzelfden zin, zoo dat die eene vrij langwerpige gedaante aanneemt, ofschoon zij, zonder de aantrekking der overige wachters, volkomen rond zoude wezen. De storingen der wachters van Jupiter zijn zeer zamengesteld, maar men heeft niettemin die, welke zij elkander toebrengen, van de overige kunnen onderscheiden, en daaruit, zelfs met eene hooge juistheid, hunne massa's bepaald. Daar wij de eigenlijke grootte dier wachters kennen, is ons alzoo ook de digtheid der stof, waaruit zij bestaan, bekend geworden.

§ 12.

De wachters der planeet Jupiter geven ons een treffend voorbeeld van duurzame betrekkingen, tusschen de ligchamen des zonnestelsels, door hunne

onderlinge aantrekking tot stand gebragt. Tusschen de drie binnenste wachters van Jupiter bestaan twee altijddurende betrekkingen, van welke de eene de snelheid hunner bewegingen, de andere de standplaatsen betreft, die zij in hunne loopbanen innemen, welke door hunne wederkeerige aantrekking zijn veroorzaakt en bestendig onderhouden worden. Om die betrekkingen voor onze lezers verstaanbaar te maken, moeten wij haar onder eenen anderen vorm voordragen, dan dien onder welken zij gewoonlijk in de leerboeken over sterrekunde gegeven worden. Men kan de omloopstijden der drie binnenste wachters van Jupiter in dezelfde tijdseenheden, b. v. in dagen en hunne decimale deelen uitdrukken, en de getallen, welke, op die wijze, die omloopstijden voorstellen, met elkander vermenigvuldigen. Als men nu de omloopstijden van den tweeden en derden wachter met elkander vermenigvuldigt, en daarbij het dubbele product van de omloopstijden des eersten en tweeden wachters optelt, verkrijgt men juist het drievoud van het product der omloopstijden van den eersten en derden wachter. Wil men zich het verband tusschen de standplaatsen der drie wachters in hunne loopbanen met juistheid voorstellen, zoo verbeelde men zich op de planeet Jupiter geplaatst te zijn, als wanneer men de drie wachters aan drie onderscheidene punten van den hemel zien zoude. Men kan zich nu aan den hemel eenen boog verbeelden, van den eersten naar den tweeden wachter getrokken, die den schijnbaren afstand dier wachters, uit de planeet gezien, zal voorstellen. Even zoo kan men den afstand van den eersten tot den derden wachter door eenen boog voorstellen, en die afstanden, van den eersten

wachter uitgaande, altijd in dezelfde rigting nemen, namelijk van de regter- naar de linkerhand, of van het Westen naar het Oosten. Nu is de afstand van den eersten tot den derden wachter altijd gelijk aan anderhalf maal den afstand van den eersten wachter tot den tweeden, gevoegd bij een vierde gedeelte van den geheelen omtrek des hemels. Dit verband laat zich ook uitdrukken door te zeggen, dat vier malen de afstand van den eersten tot den derden wachter, altijd gelijk is aan zes malen den afstand van den eersten tot den tweeden, maar men moet die afstanden altijd in denzelfden zin, namelijk van het Westen naar het Oosten, voorttellen, al moest men daarbij den geheelen hemel herhaalde malen rondloopen. Het eene verband behoeft, evenmin als het andere, van den oorsprong des stelsels af, bestaan te hebben. Als het aanvankelijk slechts ten naaste bij bestond, moest het, door de wederkeerige werking der wachters, volmaakt, en voor alle toekomstige eeuwen vastgesteld worden, en het ondergaat alleen eene zich zelve herstellende wijziging, door de schielijk afwisselende storingen, welke de wachters ondervinden, terwijl het den loop der langzame veranderingen in het stelsel moet volgen. Uit het tweede verband is ligtelijk af te leiden, dat de drie binnenste wachters van Jupiter nooit gelijktijdig verduisterd kunnen worden.

Een soortgelijk maar eenvoudiger verband bestaat ook bij sommigen der wachters van Saturnus, want de omloopstijd van zijnen eersten wachter is juist de helft van dien des derden, en de omloopstijd van den tweeden is juist de helft van dien des vierden. Onder de wachters van Saturnus is er slechts een,

wiens beweging men strengelijk heeft onderzocht, namelijk die, welke door HUYGENS is ontdekt geworden, de grootste en helderste van allen, in rangorde, van de planeet af gerekend, de zesde. Saturnus werkt niet alleen door zijne afgeplatte gedaante, maar ook door zijnen ring, op de beweging zijner wachters. De invloed van den ring is ook in de beweging van den zesden wachter zoo duidelijk, dat hij zich zeer goed, door onze waarnemingen, laat bepalen, ofschoon het moeijelijk is dien uit zoo vele andere werkingen te schiften. BESSEL heeft zelfs, uit de beweging van den genoemden wachter, de massa van den ring afgeleid en bevonden, dat die een honderdachtiende deel van de geheele massa der planeet bedragen moet.

Onder de betrekkingen, door de wederkeerige werking van de ligchamen des hemels tot stand gebragt, moet ook de omstandigheid gerekend worden, dat, voor zoo ver onze waarnemingen het kunnen aanwijzen, alle wachters hunne wentelingen om hunne assen in denzelfden tijd, als hunne wentelingen om hunne hoofdplaneten volbrengen. Wij kunnen wel op de wachters der overige planeten geene vlakken zien, zoo als op de maan, die ons onmiddellijk zouden aanwijzen, dat zij altijd dezelfde zijde van hunne oppervlakte naar hunne hoofdplaneet toekeeren, maar zij ondergaan lichtafwisselingen, voor ons oog, die hetzelfde besluit regtvaardigen. Bij de wachters van Jupiter zijn die lichtafwisselingen zeer duidelijk, en bij den uitersten wachter van Saturnus zijn die zelfs zoo sterk, dat hij geregeld, terwijl hij zich voor ons oog aan de oostelijke zijde der planeet ophoudt, zelfs door de grootste kijkers naauwelijks te onderscheiden is, ofschoon zijne waarneming volstrekt geene moeije-

lijkheid oplevert als hij zich, voor ons oog, aan de westelijke zijde der planeet bevindt.

§ 13.

Eene afzonderlijke beschouwing verdienen ook hier de duizendtallen van ligchamen die ons zonnestelsel, in allerlei rigtingen en in allerlei loopbanen, doorkruissen, namelijk de kometen. Terwijl de kometen volstrekt onvermogend zijn om de andere ligchamen des zonnestelsels eenig letsel toetebrengen, worden zij zelve op de ruwste wijze ginds en derwaarts geslingerd, en ondergaan zij storingen, van welke bij de planeten geene voorbeelden gevonden worden. Dikwijls wordt de buitengewone ligtheid der kometen als de oorzaak der groote storingen, welke zij ondervinden, voorgesteld, maar dit is eene dwaling. De massa eener komeet bepaalt wel de storingen, die zij andere ligchamen toebrengt, maar doet niets af tot de grootte of het wezen der storingen, die zij zelve ondergaat. Stellen wij eens, dat eene planeet twee ligchamen van verschillende massa, maar op gelijke afstanden van haar verwijderd, tot zich trekt. Het grootere ligchaam bevat meer stofdeelen dan het kleinere, en, daar elk stofdeel door de planeet aangetrokken wordt, zal dat ligchaam zich ook met meer kracht naar de planeet bewegen. In dezelfde verhouding echter als die kracht grooter is, moeten er ook meer stofdeelen bewogen worden, en daarom is de snelheid van het grootere ligchaam juist even groot als die van het kleinere. Zoo zien wij ook op de aarde een klein stuk gelds en een' grooten steen, als zij van dezelfde hoogte nedervallen, gelijktijdig den

grond bereiken, en indien ligte en zware ligchamen met ongelijke snelheden schijnen nedertedalen, zoo is dit alleen een gevolg van de wederstandbieding der lucht, die zij doorklieven moeten, want in het luchtledige dalen een veertje en een steen met dezelfde snelheid neder. Als dus twee ligchamen, van geheel verschillende massa, op denzelfden afstand van eene planeet verwijderd zijn, zullen zij, door de aantrekking dier planeet, in dezelfde tijden dezelfde ruimten doorloopen. Daar die ruimte de grootte hunner storingen bepaalt, zullen zij ook dezelfde storing ondervinden, en de storing die een ligchaam in het algemeen ondergaat, is van zijne eigene grootte of massa onafhankelijk. De kleine planeten van ons zonnestelsel worden ook niet om hare geringe massa sterker gestoord dan de overige, en hadden de loopbanen der kometen dezelfde natuur als die der planeten, dan zouden zij ook geene grootere storingen dan deze ligchamen ondergaan, ofschoon die haar welligt millioenen malen in massa overtreffen. De loopbanen der kometen hebben echter, niet zoo als die der planeten, eene grootte, gedaante en ligging geheel op hare instandhouding berekend. Het loutere toeval schijnt haar lot bepaald te hebben. In de loopbanen, die haar zijn toegewezen, kunnen de kometen dikwijls zoo nabij de grootere planeten komen, dat zij aan hare magt geheel worden overgeleverd, en wanneer zij al geen dezer ligchamen tot op een' zeer korten afstand behoeven te naderen, dan wordt de ligging en vooral de gedaante harer loopbanen gewoonlijk de reden, waarom zij veel sterker storingen dan de planeten te ondervinden hebben.

Wij hebben vroeger gezien, dat de berekening van

de storingen, welke de planeten ondergaan, zeer begunstigd wordt door de omstandigheid, dat hare loopbanen nagenoeg cirkelvormig zijn, en bijna in dezelfde vlakte zamenvallen. De loopbanen der kometen hebben die eigenschappen niet, en daarom is de bepaling van de storingen, die zij ondervinden, voor ons ook aan veel grootere en in vele gevallen, door hare bewerkelijkheid, aan onoverkomelijke moeijelijkheden verbonden. Bij de planeten heeft men de tijdperken onderzocht, in welke de storingen, die zij ondervinden, afgewisseld worden; men heeft den gemiddelden toestand van hare loopbanen, voor verledene en toekomstige eeuwen en duizendtallen van jaren, bepaald, maar aan zulke onderzoekingen, de kometen en hare loopbanen betreffende, valt nog volstrekt niet te denken. Wegens de langwerpige gedaante en de groote hellingen harer loopbanen, was men, tot voor een' zeer korten tijd verpligt, haar van stap tot stap te volgen, als men de storingen bepalen wilde, die eene planeet, gedurende eene enkele harer omwentelingen, op haar uitoefent. Men moest telkens de plaats berekenen, die zij in de ruimte zoude innemen, deze bij de plaats der haar verstorende planeet vergelijken, de storingen bepalen die de planeet in een zeer kort tijdsverloop op haar uitoefenen zoude, om langs dien weg hare plaats, na het einde van dat tijdsverloop, te kennen. Dan moest de berekening, voor een volgend tijdsverloop, herhaald worden, en dan op dezelfde wijze van nieuws af aangevangen worden, tot dat men eindelijk de komeet, over hare geheele omwenteling, gevolgd had. Naar mate men die tijdsverloopen kleiner nam, waren de uitkomsten naauwkeuriger, maar werden ook de berekeningen menig-

vuldiger, en men moest die dikwijls honderde malen herhalen, om de storingen te kennen die eene komeet, gedurende slechts een' enkelen harer omloopstijden, ondergaat. Ongelukkiglijk was het, zonder dien geweldigen arbeid, niet mogelijk den juisten omloopstijd eener komeet te bepalen, of uit de waarnemingen, bij ééne verschijning eener komeet volbragt, den loop te voorzeggen, dien zij bij eene volgende verschijning aan den hemel nemen zoude. Wilde men voor de bekende kometen van korte omloopstijden, met de hoogst mogelijke naauwkeurigheid, de plaatsen bepalen, welke zij bij volgende verschijningen aan den hemel zullen afleggen, dan zoude iedere van haar den bestendigen arbeid van eenen sterrekundige eischen, die bijna voor haar alleen moest kunnen leven. Voor weinige jaren heeft echter de beroemde HANSEN eene groote hervorming aan de berekening van de storingen der kometen toegebragt, daar het zijn doordringend vernuft gelukte een hulpmiddel uittevinden, waardoor die berekening in eenige overeenstemming met die van de storingen der planeten gebragt kan worden. Door de nieuwe handelwijze van HANSEN wordt, in vele gevallen, het werk zeer aanmerkelijk verligt, en zij belooft eene schoone toekomst voor onze kennis van de beweging der kometen.

§ 14.

Het is eene zaak van het uiterste belang, dat de kometen geene de minste merkbare storing in de beweging der planeten veroorzaken. Stellige bewijzen daarvoor heeft men in de naauwkeurigheid, met welke de planeten zich bewegen, naar de werking die zij

alleen van elkander ondervinden. De kometen zullen in het algemeen eene planeet sterker moeten verstoren, naar mate deze minder sterk door de zon wordt aangetrokken, en wij zullen dus den grootsten invloed van kometen bij de uiterste planeten van ons stelsel moeten zoeken. Leverrier en Uranus waren bij de ouden niet bekend, en zijn daardoor niet lang genoeg waargenomen, om hier eene geheel beslissende uitspraak te veroorloven; maar het is ons reeds gebleken, dat de ontdekte onregelmatigheid in de beweging van Uranus, niet door de werking van kometen werd teweeggebragt. Saturnus, die honderd malen minder sterk dan de aarde door de zon wordt aangetrokken, die daarom honderd malen sterker storingen dan de aarde door de kometen moet ondergaan, is reeds in de vroege oudheid waargenomen. Wij bezitten bruikbare waarnemingen op die planeet, die den ouderdom hebben van twee duizend jaren, welke, met alle latere waarnemingen op dat ligchaam, door LAPLACE aan eene strenge onderzoeking zijn onderworpen; maar ofschoon in dat tweeduizendtal jaren dikwijls kometen in de nabijheid van Saturnus gekomen moeten zijn, laten zij, in die waarnemingen, niet het minste spoor van eenen storenden invloed op Saturnus ontdekken. De komeet, die zich in het jaar 1770 vertoonde, is in het jaar 1767 dwars door het stelsel der wachters van Jupiter heengegaan, en kwam in het jaar 1779 die planeet weder zeer nabij, maar bij geene dezer gelegenheden heeft zij eenigen den minsten invloed op de beweging van Jupiter of die zijner wachters uitgeoefend. Dezelfde komeet kwam nader bij de aarde dan ooit eene der bekende kometen bij haar gekomen is, daar zij op den 1sten Julij 1770 slechts

zes malen verder dan de maan van de aarde verwijderd was, en in weerwil van die groote toenadering, heeft zij ook niet de minste merkbare verandering in de beweging der aarde ten gevolge gehad. Dit onvermogen der kometen is een volkomen bewijs voor de bijna ongelooflijke geringheid harer massa's, die te merkwaardiger is, daar haar omvang die der planeten gewoonlijk duizende malen overtreft, en die, alleen om haar gering bedrag, bij nog geene komeet met eenige juistheid bepaald kon worden. Had de komeet van 1770 eene massa, die slechts een vijf duizendste deel van de massa der aarde bedraagt, dan zoude zij een' zeer merkbaren invloed op de beweging van dat ligchaam uitgeoefend hebben, en hieruit blijkt, dat hare massa veel minder dan een vijf duizendste deel van die der aarde wezen moet. Brengt men die geringe massa in verband met haren grooten omvang, zoo blijkt het, dat deze komeet eene digtheid heeft, minder dan een twee millioenste deel van de digtheid der aarde, en minder dan een vijfhonderdste deel van de digtheid onzer dampkringslucht; zoodat zij een' hoogeren graad van ijlheid bezit, dan dien tot welken wij onze dampkringslucht, door de volkomenste luchtpompen, kunnen brengen. De komeet van BIELA, die in het jaar 1846 door haren begeleider het uitzigt opende, van ons eindelijk de massa eener komeet met eenige juistheid te zullen doen kennen, heeft zich, door hare geringe massa, ook aan dat onderzoek onttrokken. Zij was niet eens in staat haren begeleider op eene voor ons merkbare wijze om zich rondtevoeren, en ofschoon een nader onderzoek misschien nog wel iets omtrent haar zal kunnen leeren, moeten wij ons op dit oogenblik bij de verkla-

ring bepalen, dat hare massa en hare digtheid niet dan onbegrijpelijk gering kunnen wezen. En toch zijn de kometen stoffelijke zelfstandigheden, want zij gehoorzamen aan de aantrekkingskracht en aan de, door haar bepaalde, wetten van KEPPLER.

Van de storingen, die de kometen zelve ondergaan, kan men eenig denkbeeld verkrijgen, als men zich de storingen in de beweging der planeten zoo groot voorstelt, dat hare loopbanen daardoor zeer merkbaar in grootte, gedaante en ligging veranderd worden. Hoe groot het verschil tusschen de storingen in de beweging der kometen en in die der planeten in het algemeen wezen moet, kan ligtelijk door een voorbeeld worden opgehelderd. De grootste storingen onder de planeten zijn die, welke de planeten Jupiter en Saturnus elkander toebrengen, en geene kan vergeleken worden bij de vergrooting en verkleining harer loopbanen, over welke wij vroeger gehandeld hebben. Met die vergrooting en verkleining is eene verlenging en verkorting van hare omloopstijden verbonden, die bij Saturnus veel aanzienlijker dan bij Jupiter is. De grootste verandering, welke de omloopstijd van Saturnus ondergaat, is omtrent 10 dagen, en die verandering ondergaat hij trapsgewijze, in een tijdvak van 466 jaren. De omloopstijd van Jupiter kan zich hoogtens drie vierde deelen van eenen dag veranderen, en heeft daartoe hetzelfde groote tijdvak noodig. De verandering van den omloopstijd beider planeten, van de eene wenteling om de zon tot de volgende, is alzoo naauwelijks merkbaar. Vergelijken wij daarbij de verschillende omloopstijden der komeet van HALLEY, die nooit zeer digt bij eene der planeten komen kan. Van het jaar 1456 af gerekend, bedroe-

gen hare omloopstijden achtereenvolgens 75 jaren en 2 maanden, 76 jaren en 2 maanden, 74 jaren en 11 maanden, 76 jaren en 6 maanden en 76 jaren en 8 maanden. Van de eene omwenteling tot de volgende had dus bij die komeet eene verandering in den omloopstijd plaats van 1 jaar en 7 maanden, welke nog aanmerkelijk grooter had kunnen wezen. Aan die veranderingen had Jupiter, de grootste tiran der kometen, bijna altijd verre weg het grootste aandeel.

Als de loopbaan eener komeet zoodanig eenen loop door het zonnestelsel heeft, dat zij overal op groote afstanden van de loopbanen der planeten verwijderd blijft, dan zal de komeet ook niet zeer digt bij eene der planeten kunnen komen; maar strijkt de loopbaan eener komeet zeer digt langs die eener planeet henen, zoo dat zij elkander bijna doorsnijden, dan zullen beide ligchamen elkander ook tot op een' zeer korten afstand kunnen naderen. Terwijl echter de komeet het naast bij de loopbaan der planeet komt, kan de planeet zelve zich aan een ander deel van hare loopbaan ophouden, zoodat die ligchamen, in weerwil van de toenadering hunner loopbanen, nog op een' grooten afstand van elkander verwijderd kunnen blijven; maar gaan zij omtrent gelijktijdig door de punten van hunne loopbanen, die het naast bij elkander liggen, dan zullen zij ook zeer digt bij elkander moeten komen, en de komeet zal dan door de planeet eene storing kunnen ondergaan, die hare loopbaan geheel onherkenbaar maakt. Hoe groot echter die verandering wezen moge, de nieuwe loopbaan moet weder nagenoeg door hetzelfde punt van de ruimte loopen, waar de storing heeft plaats gehad, en hetzij de loopbaan grooter of kleiner, hetzij zij langwerpi-

ger of ronder werd, de komeet zal, na eene omwenteling in hare nieuwe loopbaan volbragt te hebben, terugkeeren tot het punt, waar de loopbaan is veranderd geworden. Als dus de loopbaan van eene komeet zeer digt langs de loopbaan eener planeet henenstrijkt, zal zij digt langs die loopbaan blijven henenstrijken, welke verandering zij door die planeet moge ondergaan, en als eene komeet eene planeet eenmaal heeft ontmoet, zal zij ook later weder in hare nabijheid moeten komen. Zoo kan dezelfde planeet, bij herhaling, geweldige veranderingen aan de loopbaan eener komeet toebrengen, en heeft zij eene komeet eenmaal in hare magt gekregen, zoo houdt zij haar gevangen, hoe wonderlijk zij haar, door de ruimte van het zonnestelsel, moge slingeren. Wij kennen meer dan eene komeet, welke op die wijze letterlijk een speelbal van eene der planeten is. De komeet van het jaar 1770, die bij hare toenmalige verschijning den korten omloopstijd had van 5 jaren en 7 maanden, beschreef, voor dat zij in het jaar 1767 door het stelsel der wachters van Jupiter gegaan was, eene geheel andere loopbaan, in welke zij welligt eeuwen behoefde om haren loop om de zon te volbrengen, en die door de aantrekking van Jupiter zoo bijzonder is verkort geworden. Toen de komeet in het jaar 1779 op eenen afstand van Jupiter kwam slechts vier malen grooter dan die van zijnen vierden wachter, werd haar omloopstijd van 5 jaren en 7 maanden in eenen van 7 jaren en 10 maanden veranderd. In het jaar 1815 is deze komeet weder zeer digt bij Jupiter gekomen, maar men heeft den invloed, dien zij toen van zijne aantrekking ondervonden heeft, nog niet aan de berekening onderworpen,

en ofschoon men nu niet bepalen kan, op welke tijden het plaats zal hebben, is het zeker, dat zij die planeet nog dikwijls zal moeten tegenkomen, en dan telkens eene andere loopbaan zal verkrijgen. In omtrent hetzelfde geval verkeert de komeet van het jaar 1585, die, bij hare toenmalige verschijning, eenen korten omloopstijd had van 5 jaren en 2 maanden, maar die men niet met zekerheid onder de kometen, die later zijn waargenomen, terug kan vinden, doordien hare loopbaan door Jupiter, bij herhaling, is veranderd en onherkenbaar gemaakt. Het is zeer merkwaardig, dat iedere der kometen van zeer korten omloopstijd, op dezelfde wijze als die van de jaren 1770 en 1585, door eene of twee planeten verslingerd kan worden. De loopbaan der komeet van BRORSEN loopt digt langs die der planeten Venus en Jupiter; die der komeet van FAYE loopt digt langs de loopbanen van Mars en Jupiter, en de loopbanen der kometen van DE VICO, BIELA en ENCKE gaan op zeer korte afstanden voorbij die van Mars, de Aarde en Mercurius. Iedere dier kometen moet vroeg of laat de planeet ontmoeten, langs wier loopbaan zij henenstrijkt, en dan eene aanmerkelijke storing ondervinden. Het is bijna zeker, dat zij alle die in vroegeren tijd bij herhaling ondervonden hebben, en het is niet van alle waarschijnlijkheid ontbloot, dat al de thans bekende kometen van zeer korte omloopstijden, alleen door de werking der planeten, hare tegenwoordige kleine loopbanen hebben verkregen.

§ 15.

Door de storingen die zij ondergaan, en door hare vatbaarheid om ook door zoodanige krachten gestoord

te worden, welke op de planeten volstrekt geen' merkbaren invloed hebben, zijn de kometen voor onze kennis van het zonnestelsel hoogst gewigtig. Het is eene even natuurlijke als belangrijke vraag, of de ligchamen van ons zonnestelsel zich in een volstrekt ijdel bewegen, dan wel of de ruimte van het heelal, en daardoor die van ons zonnestelsel, met eene zeer dunne vloeistof vervuld is. Die vraag heeft een te grooter gewigt, daar men de thans bekende eigenschappen van het licht niet verklaren kan, zonder het bestaan van eene veerkrachtige vloeistof aan te nemen, die het geheele wereldruim vervult, en door de lichtgevende ligchamen in eene golvende beweging wordt gebragt. Indien zoodanig eene middenstof in het wereldruim bestaat, moet zij noodwendig aan de beweging der ligchamen van ons zonnestelsel wederstand bieden, en het laat zich door de hoogere wiskunde bepalen, welke de uitwerking van zoodanig eenen wederstand wezen moet. Men heeft bevonden, dat de wederstand van eene veerkrachtige middenstof de ligchamen des zonnestelsels gestadig naar de zon moet drijven, zoo dat zij spiraalsgewijze om de zon loopen, bestendig tot haar naderende, hunne loopbanen en omloopstijden verkleinende en onophoudelijk hunnen tred verhaastende. Daarbij moeten de loopbanen in zoodanig eene middenstof allengs ronder worden, maar hare ligging in de ruimte onveranderd bewaren. De invloed van zoodanig eene middenstof is grooter, naar mate het ligchaam, dat zich in haar beweegt, een' grooteren omvang en eene kleinere massa heeft. De waarnemingen, sedert een paar duizend jaren op de planeten in het werk gesteld, verraden van zulk eene middenstof niet het minste spoor,

maar zij kan zoo onbegrijpelijk ligt en ijdel wezen, dat zij geen' merkbaren invloed op de vaste en zware ligchamen der planeten uitoefent, terwijl zij niettemin merkbare storingen teweeg brengt in den loop der kometen, die, ofschoon duizende malen grooter, duizende malen ligter zijn. Omtrent het bestaan der middenstof kan men dus alleen van de kometen inlichtingen verwachten, maar ongelukkiglijk vordert haar onderzoek, dat men dezelfde komeet, na herhaalde wentelingen om de zon, waargenomen, en de storingen, die zij door de planeten ondervindt, zeer naauwkeurig berekend hebbe. Slechts drie kometen heeft men, na herhaalde wentelingen om de zon, waargenomen, en slechts ééne van deze, namelijk de komeet van ENCKE, is in dit opzigt behoorlijk onderzocht. Reeds voor vele jaren is het ENCKE gebleken, dat elke harer omloopstijden omtrent drie uren korter duurt dan de onmiddellijk voorgaande, ook als men den storenden invloed der planeten op de zorgvuldigste wijze in rekening brengt. Die versnelling in den loop der komeet van ENCKE laat zich geheel uit den wederstand van eene middenstof verklaren, en maakt haar aanwezen voor het minste zeer waarschijnlijk. Nu wij onderscheidene kometen met korte omloopstijden kennen, zal het al of niet bestaan der middenstof, binnen weinige jaren, met volkomene zekerheid, beslist kunnen zijn, zoo die kometen slechts ijverige berekenaars mogen vinden.

Er bestaat nog eene gaping in onze kennis van het planetenstelsel, die alleen door de storingen, welke de kometen ondergaan, aangevuld kan worden. Wij kennen zeer naauwkeurig de massa van alle ligchamen in ons planetenstelsel, die eene merkbare storing in den

loop der planeten te weeg kunnen brengen, maar het is eene onaangename bekentenis voor de sterrekundigen, dat zij omtrent de grootte der vijf kleinere planeten slechts weinig, en omtrent hare massa niets kunnen mededeelen. Wanneer vroeg of laat eene komeet die reeds waargenomen is, in de nabijheid van een dier kleinere ligchamen zal komen, zal zij daardoor eene storing ondervinden, uit wier waarneming men de massa van dat ligchaam zal kunnen afleiden. Werkelijk hebben wij reeds aan de voorlichting van eene komeet eene dusdanige opheldering te danken. Men was tot in het jaar 1838 met de massa en de digtheid van eene der hoofdplaneten, namelijk met die van Mercurius, geheel onbekend gebleven; een gevolg hiervan, dat zij geenen wachter heeft, die ons hare massa zoude moeten verraden, en de storingen, welke zij op de andere planeten uitoefent, te zeer met de werking der zon zamensmelten, om tot eene bepaling van hare massa te kunnen dienen. In de sterrekundige leerboeken werden wel trouwhartig getallen-waarden voor de massa en de digtheid van Mercurius opgegeven; men vond zelfs dikwijls aangemerkt, dat Mercurius zoo digt als goud of platina wezen moest, maar alles wat men daaromtrent vermeldde, rustte alleenlijk op eene geheel willekeurige, niet zeer vernuftige en niet eens waarschijnlijke stelling van LAPLACE. Eindelijk heeft de komeet van ENCKE ons van de noodzakelijkheid ontslagen, omtrent de massa der planeet Mercurius zoo geheel in het blinde te schermen. Het was reeds lang bekend, dat de loopbanen der komeet van ENCKE en van de planeet Mercurius tot op een' zeer korten afstand voorbij elkander henen strijken, zoo dat deze

ligchamen, als zij gelijktijdig door de twee punten hunner loopbanen gaan, die het naaste bij elkander liggen, vijftig malen digter bij elkander kunnen komen, dan de aarde van de zon verwijderd is. Toen de komeet van ENCKE in het jaar 1835 verschenen was, bleek het, dat zij op den 23sten Augustus van dat jaar, op eenen afstand van Mercurius moest komen, die acht malen in den afstand der aarde tot de zon begrepen is. Die afstand was nog wel vrij aanzienlijk, maar toch klein genoeg om de komeet, door de aantrekking van Mercurius, van haren weg af te leiden. Zij onderging toen eene storing, die hare geheele loopbaan eenigermate wijzigde, en die zich alzoo verraden moest, toen zij in het jaar 1838 op nieuw verscheen. Toen bleek het dat LAPLACE aan de planeet Mercurius eene veel te groote massa en digtheid had toegeschreven, en uit de storing in de beweging van de komeet van ENCKE werd voor beide eene waarde afgeleid, zoo als wij die vroeger hebben aangewezen. Onze kennis van de massa en de digtheid der planeet Mars laat nog veel te wenschen over, maar daar de komeet van DE VICO zeer digt langs hare loopbaan henen strijkt, zal die ons ook vroeg of laat tot eene juiste bepaling van de massa dier planeet aanleiding geven. De onderzoekingen, die door de kometen thans worden uitgelokt, zullen voor onze kennis van het planetenstelsel nog schoone vruchten dragen. De kometen hebben der wetenschap reeds gewigtige diensten bewezen, hare belangrijkheid is gestadig vermeerderd, en zij zijn die bijna geheel aan de storingen, welke zij ondergaan, verschuldigd.

§ 16.

Gebonden aan de taal van het dagelijksche leven, en binnen eene enge ruimte beperkt, was onze voorstelling van de storingen, die de ligchamen des zonnestelsels ondervinden, onvolledig en onvolkomen; maar ongetwijfeld vermogt zij toch haren lezer een blijk te geven van het menschelijk vernuft, dat zoo geheimzinnige werkingen wist te ontcijferen, en hem met bewondering te doen staren, op den omvang en den rijkdom onzer stellige kennis van den hemel. Met regt verbaast ons die zamengesteldheid van bewegingen, die verscheidenheid van uitwerkingen door ééne kracht veroorzaakt, zoo hoogst eenvoudig in haar beginsel; maar als wij zien, hoe ook in de ruimte der schepping alles aan eeuwigdurende wisseling en verandering is onderworpen, als wij het oog vestigen op die schijnbare verwarring, in welke de wereldbollen gelijktijdig aan honderde neigingen voldoen, dan moet wel de vraag in ons oprijzen »wat zal in dat groote schouwtooneel des hemels eenmaal de ontknooping zijn?" Toen men de uitwerking der algemeene aantrekkingskracht gedeeltelijk kende, maar niet gelijk nu, met betrekking tot haar, in eene toekomst kon lezen, door millioenen jaren van ons afgescheiden, heeft men dikwijls gevraagd, of die bestendige strijd tusschen werkingen en tegenwerkingen eeuwiglijk onschadelijk zal blijven, dan wel of zij vroeg of laat, zoo als elk rijk door eenen burgertwist wordt verwoest, op de eindelijke verdelging van ons zonnestelsel zal uitloopen. Maar het was geen eigenlijke strijd, dien wij beschouwden. Het was veeleer eene onderlinge handeling tusschen hoogere en lagere standen, in elken staat noodwen-

dig, en door den geest der Almagt geleid, Die alles wat ons dreigend en gevaarlijk toeschijnt, tot de instandhouding van haar groote werk verordende. Het denkvermogen, door de hoogere wiskunde ondersteund, heeft ons in de geheimste werkplaatsen der schepping ingeleid, het heeft ons voor oogen gesteld, wat noch de ervaring van honderde eeuwen, noch eenige werktuigelijke berekening ons leeren kon. De schijnbare verwarring is ons reeds in eene wondervolle overeenstemming ontknoopt, de middelen zijn ons aangewezen, door welke de Almagt de duurzaamheid Harer werelden, voor eene onafzienbare toekomst, verzekerde.

Reeds door de natuur zelve der aantrekkingskracht wordt ons op eene zorg voor de instandhouding der werelden gewezen. Naar eene bepaalde en hoogst eenvoudige wet verandert zij haar vermogen, met den afstand waarop zij werkt, en ofschoon eene oneindige verscheidenheid van zulke wetten voor ons denkbaar is, heeft de natuur, onder alle, juist die gekozen, welke, zonder tusschenkomst van andere werkingen, alleen in hare honderdvoudige behoeften kan voorzien. De aantrekkingskracht, gelijk zij nu bestaat, heeft aan onze aarde hare kogelvormige gedaante gegeven. Zij voerde de digtste deelen der aarde naar haar middelpunt, en de zee, haar ligtste deel, naar hare oppervlakte; een noodzakelijk vereischte om de zee in een vast evenwigt te houden, zonder hetwelk zij, bij de minste stoornis van buiten, de geheele aarde zoude overstroomen. Zij bewerkte, met de omwentelende beweging der aarde vereenigd, de afplatting der aarde, die hare omwentelings-as dwingt altijd door dezelfde punten van hare oppervlakte te

gaan, zonder welke standvastigheid de zee haren loop over de aarde zoude veranderen, land en zee elkanders plaats zouden vervangen, en dezelfde plaats der aarde, bij afwisseling, in allerlei luchtstreken zoude komen. Alleen bij de wet der natuur moeten kogelvormige ligchamen de voorwerpen buiten hen zoodanig aantrekken, als of hun gansche vermogen in hun middelpunt vereenigd ware, hetgeen de onderhouding eischt der schepselen die zij dragen. Door haar worden de planeten in gesloten kringen om de zon gevoerd, terwijl bij andere wetten reeds de grondbewegingen der planeten het geheele stelsel spoedig zouden ontbinden. Door haar, en door haar alleen, kunnen de bewegingen van de ligchamen des zonnestels van zijne afmetingen onafhankelijk wezen, gelijk zij van zijne geheele verplaatsing in de ruimte der schepping onafhankelijk zijn.

§ 17.

Maar met welke ondoorgrondelijke wijsheid de natuur hare aantrekkingskracht aan de meest doelmatige wet gebonden hebbe, zij vertrouwde haar niet uitsluitend aan het hoofdligchaam van ons stelsel toe; zij heeft alle ligchamen van het stelsel met haar bedeeld, waaruit die honderdvoudige werkingen ontspringen, welke het met eenen eindelijken ondergang schijnen te bedreigen. Wij kennen in ons planetenstelsel vele veranderingen, die, indien zij bestemd waren om altijd in denzelfden zin voort te loopen, vroeg of laat, alles wat op de aarde of de planeten leeft, den dood ter prooi zouden moeten geven. Wij zien de planeten hare loopbanen vergrooten en verkleinen, en mogt die veran-

dering bestendig in denzelfden zin voortloopen, zoo zoude de vernietiging van het geheele stelsel eenmaal haar gevolg moeten zijn. Werd de loopbaan onzer aarde bestendig langwerpiger, dan zoude haar afstand van de zon eindelijk zoo groote veranderingen ondergaan, dat alles, wat op de aarde leeft, voor de overgangen van warmte in koude, waaraan het blootgesteld zoude worden, zoude moeten bezwijken. Kon de loopbaan onzer aarde hare ligging in de ruimte derwijze veranderen, dat zij eindelijk evenwijdig werd aan de as waarom zij wentelt, dan zoude ten laatste elk deel van hare oppervlakte eene afwisseling van jaargetijden ondergaan, die het leven van menschen, dieren en planten onmogelijk zoude maken. Men kende in vroegere jaren geene redenen, waarom de algemeene aantrekkingskracht niet ten eenigen tijde deze of dergelijke gevolgen zoude kunnen hebben, en kon, om eenigermate te beoordeelen, welke veranderingen het planetenstelsel te gemoet ging, alleen tot de veranderingen welke het, blijkens de waarnemingen, in de verloopene eeuwen ondergaan had, zijne toevlugt nemen. Uit die waarnemingen heeft men den tegenwoordigen en den vroegeren toestand van het planetenstelsel afgeleid, en het is gebleken dat, sedert de oudste tijden, over welke de waarnemingen zich uitstrekken, alle storingen die gevaarlijk hadden kunnen worden, haren loop hebben veranderd, eer zij tot een groot bedrag zijn opgeklommen, en alzoo gestadig zich zelve hebben hersteld en vernietigd. De eigenlijke toestand van het planetenstelsel is onveranderd gebleven, en de zon, van welke het geheel afhankelijk is, wie men, wegens het licht dat zij altijddurend uitzendt, eene gestadige vermindering in hare stoffe-

lijke zelfstandigheid meende te moeten toeschrijven, heeft in vier duizend jaren zeker geen millioenste deel van hare stof verloren. De lengte van ons jaar is, sedert den tijd der oudste waarnemingen, geene enkele secunde veranderd, en had de lengte van ons etmaal eene verandering ondergaan van slechts een tweehonderdste deel eener secunde, zoo zoude die zich aan verschijnselen moeten verraden, welke wij niet bemerken. Treffend mogen deze uitspraken der ervaring zijn, maar zij kunnen ons geene zekerheid voor de toekomst geven. Die zekerheid kunnen wij slechts door wiskundige redenering en berekening verkrijgen, en als wij zien hoe volmaakt door haar de verschijnselen des hemels worden voorgesteld, door alle leeftijden waargenomen, dan kunnen wij ook in hare voorspellingen een onbepaald vertrouwen stellen. Het is ons thans gegeven den invloed dien de ligchamen des planetenstelsels, door hunne wederkeerige werking, in vele toekomstige duizendtallen van jaren op zijnen toestand zullen uitoefenen, aan de berekening te onderwerpen, en die even moeijelijke als belangwekkende arbeid is onlangs door LEVERRIER, voor een tijdvak van honderdduizend toekomstige jaren, volbragt. In al dien tijd zal ons zonnestelsel slechts kleine veranderingen ondergaan, en alle storingen, aan welke het onderworpen is, zullen, eer zij gevaarlijk kunnen worden, zich zelve even zoo blijven vereffenen, als dit, blijkens de waarnemingen, sedert de oudste tijden heeft plaats gehad.

§ 18.

De duurzaamheid van ons zonnestelsel is ons alzoo voor honderdduizend toekomstige jaren verzekerd, maar

dit bewustzijn kan de vraag, welke uitwerking de algemeene aantrekkingskracht, in eene onbepaalde toekomst, op het zonnestelsel hebben moet, hare belangrijkheid niet ontnemen. Het is hier niet de vraag of het zonnestelsel reeds de teekens draagt van eenen, naar het graf overhellenden, ouderdom; het is niet de vraag, of het in eenen staat verkeert van jeugdigen bloei, die het in staat moet stellen nog onze late nakomelingen een onbezorgd levensgenot te schenken; maar het is de vraag of de kracht der natuur, die wij reeds als noodwendig leerden kennen, in zich zelve toereikend is, om, voor eene eeuwige toekomst, al het geschapene in zijnen stand te bewaren; of de natuur de voorwaarden voor haar tijdelijk bestaan en hare bestendige onderhouding uit dezelfde bron wist te putten, dan wel of zij de duurzaamheid van haar werk, zonder krachten of hulpmiddelen van elders te ontleenen, niet verzekeren kon. Toen men zich nog niet in staat gevoelde op deze stoute vraag een beslissend antwoord te geven, kon men zich niet verbeelden, dat die uiterste zamengesteldheid van bewegingen, onder de ligchamen die ons zonnestelsel uitmaken, door alle eeuwen heen in zich zelve onschadelijk zoude kunnen blijven. Men meende daarom dat de natuur de kometen voor de onderhouding van haar werk verordend had, en door middel van deze ligchamen, elke planeet tot haren stand terugvoerde, als hare afwijking groot genoeg mogt worden, om het geheele stelsel met een gevaar te bedreigen. Maar even onvermogend als de kometen zijn om te schaden, zijn zij het ook om eenig heil te stichten, en gelijk de regtstreeksche berekening heeft aangetoond, zal de natuur althans in het eerstvolgend honderdduizendtal

jaren de tusschenkomst der kometen niet behoeven. Doch de hoogere wiskunde was aan dat groote tijdvak van honderdduizend jaren niet gebonden. Zij trachtte de vlugt van hare onderzoekingen over onbepaalde tijdvakken uittebreiden; zij zocht den loop, dien ook de grootste storingen der planeten in tijdvakken van onbepaalde lengte zullen nemen, aan hare berekening te onderwerpen. Ook daarin is zij niet te kort geschoten, en van de belangrijke uitkomsten door haar, met betrekking tot dit onderwerp, verkregen, mogen ons de volgende proeven een denkbeeld geven. De toestand van het planetenstelsel hangt gedeeltelijk van de loopbanen der groote planeten Jupiter, Saturnus en Uranus af, en konden die loopbanen eene groote verandering ondergaan, dan zouden zij ook eene groote wijziging in die van de overige planeten te weeg brengen. Door hare wederkeerige werking worden de loopbanen van Jupiter, Saturnus en Uranus echter slechts matig veranderd, en, na al hare afwisselingen te zijn doorgeloopen, verkrijgen zij telkens, na tijdvakken van negenhonderd duizend jaren, hare vroegere gedaanten en betrekkelijke standen terug. Door de werking die Jupiter en Saturnus op elkander uitoefenen, slingeren de lijnen, onder welke hare loopbanen die der aarde doorsnijden, in tijdvakken van omtrent vijf-en-twintig duizend jaren heen en weder. Door die werking verandert ook de betrekkelijke stand der vlakten, in welke de loopbanen dier planeten gelegen zijn, maar telkens, na tijdvakken van een-en-vijftig duizend jaren, moeten beide loopbanen hare vroegere betrekkelijke standen hernemen. De loopbanen dier planeten worden bij afwisseling ronder en langwerpiger, maar telkens doorloopen zij al die

afwisselingen in tijdvakken van zeventigduizend jaren, zoo dat zij vijf-en-dertig duizend jaren behoeven, om van hare meest ronde tot hare meest langwerpige gedaante over te gaan. De loopbaan van Mercurius, die zich altijd door eene bijzonder langwerpige gedaante zal onderscheiden, ontvangt haren meest mogelijke langwerpigen vorm, telkens, na tijdvakken van een millioen en achthonderd duizend jaren, terug. De groote as of langste middellijn van de loopbaan der aarde wentelt zich in een veranderlijk tijdperk, van omtrent honderdtien duizend jaren, om, en zal eerst na tachtig duizend jaren haren tegenwoordigen stand herkrijgen. De schuinsche stand van de omwentelings-as der aarde zal nog gedurende dertig duizend jaren afnemen, om dan weder, gedurende meer dan dertig duizend jaren, eene aangroeijing te ondergaan. De vlakte van de loopbaan der aarde volbrengt, in verschillende tijdvakken, verschillende kleine schommelingen, van welke de voornaamste zijn eene schommeling, die in den tijd van drie-en-negentig duizend jaren, en eene andere, die in den tijd van veertig duizend jaren volbragt wordt. Nog vier-en-twintig duizend jaren lang zal de loopbaan der aarde steeds tot den vorm van eenen cirkel naderen, en dan weder gedurende vijftigduizend jaren langwerpiger worden, en ook zij keert, telkens na veranderlijke tijdvakken van vele duizenden jaren, tot hare vorige gedaante terug. Alle veranderingen in de loopbanen der planeten zijn zeer klein, en gaan uiterst langzaam voort. Overal vindt men, dat zij die loopbanen tot haren vorigen toestand doen wederkeeren, door zamengestelde afwisselingen, die haren loop eerst in tien- en honderdduizendtallen van jaren volbrengen. Een-

maal moet de wederkeerige werking der ligchamen van het planetenstelsel, het geheele stelsel zijn' vroegeren toestand doen hernemen, waartoe het echter tijdvakken behoeft, naauwelijks met millioenen van jaren te meten.

Met deze merkwaardige uitkomsten niet bevredigd, heeft de mensch van de natuur een stellig en regtstreeksch antwoord afgeeischt op de vraag, of de oorspronkelijke krachten die zij instelde, eeuwigdurend aan zich zelve voldoen. De natuur heeft die vraag toestemmend beantwoord, en ons tevens de geheime middelen aangewezen, die zij had te baat genomen, om, zonder vreemde tusschenkomst, om zonder eenige noodmiddelen, de duurzaamheid van haar werk voor alle eeuwen te verzekeren. De hoogere wiskunde heeft ons regtstreeks en volkomen, ook zonder haar onderzoek aan bepaalde tijdvakken te binden, op eene algemeene wijze bewezen, dat het planetenstelsel, door zijne eigene inrigting, voor altijd tegen eene schadelijke werking der algemeene aantrekkingskracht gewaarborgd is. Alleen die veranderingen in het planetenstelsel, welke nimmer schaden kunnen, bezitten het vermogen om altijd in denzelfden zin voort te gaan, en alle overige moeten, eer zij eenigermate gevaarlijk kunnen worden, haren loop omkeeren, en zich zelve geheel herstellen. Zoo is het, als de loopbanen der planeten hare bijna cirkelvormige gedaanten en hare geringe hellingen behouden, geheel onverschillig naar welke punten van den hemel hare assen, of de lijnen, onder welke zij elkander doorsnijden, gerigt worden, en alleen deze lijnen kunnen hare ligging bestendig in denzelfden zin veranderen. Alle overige storingen, die de planeten of hare wach-

ters ondergaan, moeten haren loop omkeeren, eer zij tot een groot bedrag kunnen zijn opgeklommen. Zoo kunnen de veranderingen, in de grootte van de loopbanen der planeten, alleen in kleine en afwisselende vermeerderingen of verminderingen bestaan, terwijl de gemiddelde grootte dier loopbanen onveranderlijk dezelfde blijft. De loopbanen der planeten moeten, door alle eeuwen heen, hare geringe hellingen en bijna cirkelvormige gedaanten behouden. Door behulp van de hoogere wiskunde heeft men de grootst mogelijke veranderingen, die zij ondergaan kunnen, met juistheid en met volkomene zekerheid weten te bepalen, en voor elke planeet heeft men zeer enge grenzen gevonden, die hare loopbaan nooit zal kunnen overschrijden. De algemeene aantrekkingskracht, voor het bestaan van ons zonnestelsel noodwendig, is dus ook, in zich zelve, voor zijne onderhouding genoeg. De bestendige wisselingen, die het zonnestelsel ondergaat, zijn slechts kleine schommelingen om eenen staat van evenwigt, die door de natuur niet zal verbroken worden, en de honderdvoudige uitwerkingen der grondkracht die het bezielt, verhinderen het niet de eeuwigheid te verduren.

§ 19.

Wist men slechts, dat de ontelbare storingen, door de grondkracht veroorzaakt die ons zonnestelsel beheerscht, nimmer schaden kunnen; wist men slechts, dat alle veranderingen die ons zonnestelsel ondergaat, door zijne eigene inrigting binnen zeer enge grenzen zijn besloten, men zoude het geheim, waardoor eene zoo groote uitkomst verkregen wordt, ver boven den

kring van het menschelijk denkvermogen verheven wanen. De natuur, altijd even eenvoudig in hare hulpmiddelen als groot in hare voortbrengselen, had echter aan schijnbaar onbeduidende maatregelen genoeg, om hare werelden, door alle eeuwen heen, ongeschonden in haren stand te bewaren. De duurzaamheid van ons zonnestelsel rust geheel op eenige weinige, hoogst eenvoudige, omstandigheden, die men reeds voor eeuwen kende, maar wier hooge doel eerst voor weinige tientallen van jaren gebleken is. De loopbanen der planeten hebben alle eene nagenoeg cirkelvormige gedaante, en vallen alle, op weinig na, in dezelfde vlakte zamen. Deze overeenstemming was, naar de uitspraak der hoogere wiskunde, voor de instandhouding van het stelsel noodzakelijk, maar zij zoude voor zijne duurzaamheid nog geen' voldoenden waarborg opleveren, had niet de natuur nog een' anderen, hoogst eenvoudigen, maatregel getroffen. Al de planeten bewegen zich, in hare kringen om de zon, in dezelfde rigting, van het Westen naar het Oosten, en ziedaar de maatregel, aan welken het bestaan onzer aarde, het bestaan van geheel ons zonnestelsel verbonden is. Indien slechts eene der grootere planeten zich in eene andere rigting dan de overige bewoog, zoude zij storingen kunnen te weeg brengen, die zich niet herstellen, en het geheele stelsel ware welligt reeds lang verwoest. Nu echter moesten alle afwijkingen zich zelve vereffenen, en het planetenstelsel is gebleven, het kan nog na millioenen van jaren zijn, wat het ten tijde van onze stamouders was. De inrigting van het planetenstelsel kan niet anders dan een gevolg zijn van de wijze, waarop het zijnen oorsprong ontving; zijne wording zelve is alzoo

de grondslag van zijne duurzaamheid, door zijne geboorte is het gewaarborgd tegen zijnen dood en, oneindig verheven boven het werk van menschenhanden, draagt het in zich zelf de kiem der verwoesting niet. Het planetenstelsel is een uiterst zamengesteld en kunstig uurwerk, door krachten bewogen die nooit verflaauwen; door honderde raderen bestuurd, die met eene bewonderenswaardige volkomenheid in elkander grijpen, en voor geen slijten of verloopen vatbaar zijn; door slingers bedwongen, die elke schommeling in duizendtallen van jaren volbrengen, en zijn' ongestoorden voortgang voor altijd verzekeren. Het planetenstelsel is een kunstgewrocht met aanbiddelijke wijsheid geschapen, waarin elk deel zijn bijzonder en verheven doel te bereiken heeft, en tevens tot behoud van het geheel moet medewerken. Als een toonbeeld van de volmaaktheid des Scheppers zal het blijven bestaan, tot dat het zijne bestemming bereikt zal hebben, en misschien eenmaal de wil van Hem, Die de krachten der natuur heeft geschapen, en magtig is om haar weder te ontbinden, op Wiens wenken werelden moeten verrijzen en vergaan, zijne verdelging zal gebieden.



